

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI  
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012337156      \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1999-143263/199912  
XRPX Acc No: N99-104077

**Image distortion reduction in transfer of mask pattern by scanning exposure onto photosensitive wafer by projection aligner**

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR )

Inventor: NISHI K

Number of Countries: 082    Number of Patents: 006

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
WO 9905709	A1	19990204	WO 98JP3305	A	19980724	199912 B
JP 11045842	A	19990216	JP 97198154	A	19970724	199917
AU 9883573	A	19990216	AU 9883573	A	19980724	199926
EP 1024522	A1	20000802	EP 98933919	A	19980724	200038
			WO 98JP3305	A	19980724	
US 6522386	B1	20030218	WO 98JP3305	A	19980724	200317
			US 2000488570	A	20000121	
			US 2000502042	A	20000211	
US 20030128344	A1	20030710	WO 98JP3305	A	19980724	200347
			US 2000488570	A	20000121	
			US 2000502042	A	20000211	
			US 2002321597	A	20021218	

Priority Applications (No Type Date): JP 97198154 A 19970724

Patent Details:

Patent No    Kind    Lan    Pg    Main    IPC    Filing    Notes

WO 9905709    A1    J    62    H01L-021/027

Designated States (National): AL AM AT AU AZ BA BB BG BR BY CA CH CN CU  
CZ DE DK EE ES FI GB GE GH GM HR HU ID IL IS KE KG KR KZ LC LK LR LS LT  
LU LV MD MG MK MN MW MX NO NZ PL PT RO RU SD SE SG SI SK SL TJ TM TR TT  
UA UG US UZ VN YU ZW

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK EA ES FI FR GB GH GM GR  
IE IT KE LS LU MC MW NL OA PT SD SE SZ UG ZW

JP 11045842    A    40

AU 9883573    A    Based on patent WO 9905709

EP 1024522    A1    E    H01L-021/027    Based on patent WO 9905709

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI  
LU MC NL PT SE

US 6522386    B1    G03B-027/68    Cont of application WO 98JP3305  
CIP of application US 2000488570

US 20030128344    A1    G03B-027/68    Cont of application WO 98JP3305  
CIP of application US 2000488570  
Div ex application US 2000502042  
Div ex patent US 6522386

Abstract (Basic): WO 9905709 A1

NOVELTY - When a mask pattern is transferred by scanning exposure onto a photosensitive wafer by a projection aligner, static image distortion characteristics are smoothed over the width of an exposed area and turned to dynamic image distortion characteristics. At least the random component of the latter is corrected by placing an image distortion correction plate in the projection optical path.

DETAILED DESCRIPTION - The image distortion correction plate is prepared by locally polishing the surfaces of a transparent plate having parallel sides. Considering that the aberrations are also smoothed out during the scanning exposure and turned to dynamic aberration characteristics, a correction plate which will minimize the

aberrations is prepared beforehand and mounted in the projection optical path.

USE - Correction of image distortion characteristics when a mask pattern is transferred by scanning exposure onto a photosensitive wafer.

ADVANTAGE - Aberrations occurring in an illumination optical system in the projection optical system of a projection aligner using ultraviolet illumination light are reduced.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing illustrates the exposure method.

pp; 62 DwgNo 1/12

Title Terms: IMAGE; DISTORT; REDUCE; TRANSFER; MASK; PATTERN; SCAN; EXPOSE; PHOTSENSITISER; WAFER; PROJECT; ALIGN

Derwent Class: P82; P84; U11

International Patent Class (Main): G03B-027/68; H01L-021/027

International Patent Class (Additional): G03B-027/42; G03B-027/72;

G03F-007/20

File Segment: EPI; EngPI

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-45842

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月16日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 8

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 6 A

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願平9-198154

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月24日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 西 健爾

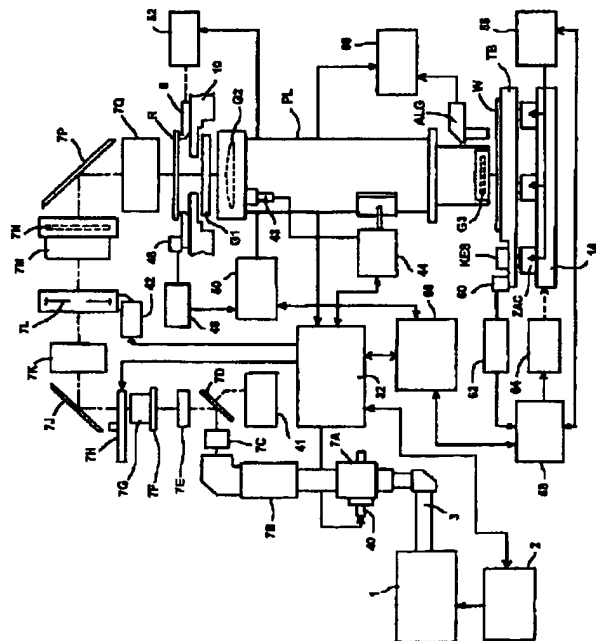
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 投影露光装置と露光方法、該露光装置の調整方法、及び回路デバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 紫外照明光を用いる投影露光装置の投影光学系や照明光学系で生じる各種の収差を低減した露光方式を提供する。

【構成】 投影露光装置によってマスク上のパターンを感光基板上に走査露光する際に、走査方向については投影領域内の幅に渡ってスタティックな像歪み特性が平均化されてダイナミックな像歪み特性になることに着目し、そのダイナミックな像歪み特性のうちの少なくともランダムな成分については、透明な平行平板の表面を局所的に研磨加工した像歪み補正板を投影光路内に配置することで補正する。また、その他の収差についても走査露光時に平均化されてダイナミックに収差特性になることを考慮して、事前に他の収差を最小にするような補正板を作製して投影光路内に装着する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の結像特性を有する投影光学系と、該投影光学系の物体面側に保持されるマスク基板と前記投影光学系の像面側に保持される感応基板を前記投影光学系に対して1次元走査方向に移動させる駆動機構と、前記像面側に投影される前記マスク基板の部分的な像を前記1次元走査方向に所定の幅を有する実効投影領域内に制限する制限手段とを備え、前記マスク基板のパターンを前記感応基板上に走査露光する投影露光装置において、

前記投影光学系の物体面側に配置した理想格子点を前記像面側に投影すると該理想格子点の夫々に対応した各像点が前記実効投影領域内で像歪みベクトルを伴うものとしたとき、前記実効投影領域内で前記1次元走査方向に並ぶ複数の像点の各像歪みベクトルを平均した平均ベクトルを前記実効投影領域の前記1次元走査方向と交差した非走査方向の複数の位置の各々において所定の状態に補正するように光学加工された少なくとも1つの光学補正素子を、前記投影光学系内の所定位置に保持する補正素子保持手段を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記光学補正素子は、前記投影光学系による結像光路中で主光線が前記投影光学系の物体面または像面とほぼ垂直になるテレセントリック部に配置されることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記補正光学素子は前記物体面側と像面側の少なくとも一方に配置された透過性光学硝材で構成され、該透過性光学硝材の前記実効投影領域に対応した表面部分は、前記非走査方向の複数の位置の各々における前記平均ベクトルをほぼ同一にするように、局所的に異なる面形状に光学加工されていることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項4】 前記補正素子保持手段は、前記透過性光学硝材を前記投影光学系の物体面または像面と平行な状態、或いは前記物体面または像面に対して微少傾斜した状態で保持することを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項5】 前記非走査方向の複数の位置の各々における前記平均ベクトルの方向性と絶対値が所定の関数に近似されるように、前記透過性光学硝材の表面を局所的に異なる面形状に光学加工したことを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項6】 前記投影光学系を介して前記像面側に解像可能なパターン像の最小サイズを $\Delta r$ としたとき、前記非走査方向の複数の位置の各々における前記平均ベクトルの夫々から線形誤差成分を除いたランダム誤差成分を $\pm(\Delta r/10)$ 以内にするように、前記透過性光学硝材の表面の面形状を局所的に光学加工したことを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項7】 所定の結像特性を有する投影光学系の物体面側に原版を配置するとともに前記投影光学系の像

面側に感応基板を配置し、前記像面側に投影される前記原版の部分的な像を1次元走査方向に所定の幅を有する実効投影領域内に制限した状態で、前記原版と感応基板とを前記1次元走査方向に移動させて前記原版のパターンを前記感応基板上に走査露光する方法において、前記物体面側に配置した理想格子点を前記像面側に投影すると該理想格子点の夫々に対応した各像点が前記実効投影領域内で像歪みベクトルを伴うものとしたとき、前記実効投影領域内で前記1次元走査方向に並ぶ複数の像点の各像歪みベクトルを平均化した平均ベクトルが前記実効投影領域の前記1次元走査方向と交差した非走査方向の複数の位置の各々において所定の状態になるように光学加工された少なくとも1つの光学補正素子を、前記投影光学系による結像光路内に配置した状態で前記原版のパターンを前記感応基板上に走査露光することを特徴とする露光方法。

【請求項8】 請求項7に記載の原版を回路デバイス製造用のパターンが形成されたマスク基板とし、請求項7に記載の感応基板をレジストの塗布された半導体ウェハとし、請求項7に記載の光学補正素子を含む投影光学系を屈折光学素子のみ、屈折光学素子と反射光学素子の組合わせ、或いは反射光学素子のみで構成される縮小投影系とし、該縮小投影系を用いて前記マスク基板のパターンを前記半導体ウェハ上に走査露光することで前記半導体ウェハ上に回路デバイスを形成することを特徴とする回路デバイス製造方法。

【請求項9】 前記光学補正素子は、前記投影光学系の物体面側に配置されて、前記投影光学系を用いた走査露光時に平均化されて生じ得る前記平均ベクトルで規定されるダイナミックなディストーション特性を補正する像歪み補正板を含むことを特徴とする請求項8に記載の方法。

【請求項10】 前記光学補正素子は、前記投影光学系の像面側に配置されて、前記投影光学系を用いた走査露光時に平均化されて生じ得る前記平均ベクトルで規定されるダイナミックなアス収差特性を補正するアス補正板を含むことを特徴とする請求項8に記載の方法。

【請求項11】 前記光学補正素子は、前記平均化された平均ベクトルが前記非走査方向の位置に応じた所定の関数に近似されるか、又はその位置によらずほぼ一定に近似されるように、表面を局所的に光学研磨して作製されることを特徴とする請求項8に記載の方法。

【請求項12】 マスク上のパターン領域の一部を照明系からの照明エネルギーで照射し、そのパターン領域の一部を投影光学系を介して感応性の基板上に投影しつつ前記レチクルと前記基板とを前記投影光学系の視野に対して1次元移動させることにより、前記基板上に前記マスクのパターン領域の全体像を走査露光する露光装置の調整方法において、

前記投影光学系の物体面側または像面側における前記照

明エネルギーの光学的な収差を補正するための照明収差補正部材を前記照明系内に調整して設置する第1の工程と；理想格子点またそれに準じた点の各々に計測用マークが形成されたテストレチクルを前記投影光学系の物体面に配置し、前記第1の工程によって補正された収差状態の照明エネルギーを前記テストレチクルに照射することによって前記複数の計測用マークの各像を前記投影光学系の像面側に投影する第2の工程と；前記計測用マークの各投影像に含まれるスタティックな像歪みを計測し、そのスタティックな像歪みに基づいて走査露光時に平均化されるダイナミックな像歪みを非走査方向の所定の位置毎に決定する第3の工程と；前記ダイナミックな像歪みのうちの少なくともランダムな成分が補正されるように加工された投影収差補正部材を前記投影光学系の物体面と像面との間に調整して設置する第4の工程とを含むことを特徴とする露光装置の調整方法。

【請求項13】 前記照明収差補正部材は、前記マスク又はテストレチクルに照射される照明エネルギーの全体的なテレセン誤差、局所的なテレセン誤差、及び前記投影光学系の視野内の位置に応じて変化する照明開口数の誤差の少なくとも1つの誤差による収差を補正することを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項14】 前記投影収差補正部材は、前記投影光学系による投影光路内の像面近傍に配置されて、前記第3の工程で計測されたスタティックな像歪みに基づいて特定されるアス収差特性、又は像面湾曲特性を補正するように表面を局所的に研磨加工したアス収差補正板、又は像面湾曲補正板を含むことを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項15】 前記投影収差補正部材は、前記投影光学系による投影光路内の物体面近傍に配置されて、前記第3の工程で決定されたダイナミックな像歪みに基づいて特定されるダイナミックなディストーション特性を補正するように表面を局所的に研磨加工した像歪み補正板を含むことを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項16】 所定形状の照明領域内のマスクパターンの像を感応性の基板上に投影するために複数のレンズ素子から成る投影光学系を有し、前記照明領域に対してマスクを所定方向に走査し、前記照明領域と共役な所定形状の投影領域に対して前記基板を所定方向に走査することによって、前記マスクのパターン像を前記基板上に走査露光する投影露光装置を用いた露光方法において、

走査方向及び非走査方向に配列されたマスク上の複数の計測マークの各投影像を前記投影光学系を介して感応性の基板上に走査露光する第1の工程と；前記計測マークの投影像の感応性基板への露光結果に基づいて、理想格子点位置からの各ずれ量をダイナミックな収差誤差として計測する第2の工程と；該計測された収差誤差を各計測点の走査方向に並ぶ計測点について加算平均して平均

的な収差誤差を算出する第3の工程と；該算出された平均的な収差誤差に基づいて加工された少なくとも1つの光学補正部材を前記投影光学系の物体面と像面との間の投影光路内に挿入する第4の工程と；前記光学補正部材を投影光路内に挿入した状態でマスクと感応性基板とを走査するで、感応性の基板上に投影されるパターン像に生じる得る前記平均的な収差誤差を補正して露光する第5の工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項17】 所定形状の照明領域内のマスクパターンの像を感応性の基板上に投影するために複数のレンズ素子から成る投影光学系を有し、前記照明領域に対してマスクを所定方向に走査し、前記照明領域と共役な所定形状の投影領域に対して前記基板を所定方向に走査することによって、前記マスクのパターン像を前記基板上に走査露光する投影露光装置を用いた露光方法において、

走査方向及び非走査方向に配列されたマスク上の計測マークの各投影像を前記投影光学系を介して感応性の基板上に静止露光する第1の工程と；前記計測マークの投影像の感応性基板への露光結果に基づいて理想格子点位置からの各ずれ量を計測する第2の工程と；該計測された各ずれ量を各計測点の走査方向に並ぶ計測点について加算平均して平均ずれ量を算出する第3の工程と；該算出された平均ずれ量に基づいて加工された少なくとも1つの光学補正部材を前記投影光学系の物体面と像面との間の投影光路内に挿入する第4の工程と；前記光学補正部材を投影光路内に挿入した状態でマスクと感応性基板とを走査することにより、感応性の基板上に投影されるパターン像に生じ得る前記平均ずれ量を補正して露光する第5の工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項18】 所定形状の照明領域内のマスクパターンの像を感応性の基板上に投影するために複数のレンズ素子から成る投影光学系を有し、前記照明領域に対してマスクを所定方向に走査し、前記照明領域と共役な所定形状の投影領域に対して前記基板を所定方向に走査することによって、前記マスクのパターン像を前記基板上に走査露光する投影露光装置を用いた露光方法において、

マスク上で走査方向及び非走査方向に配列された複数の計測マークの各投影像を前記投影光学系の像面側で光電的に検出し、その検出結果に基づいて前記計測マークの投影像の理想格子点位置からの各ずれ量を計測する第1の工程と；前記複数の計測マークのうちで走査方向に並んだ計測マークの各々について前記第1の工程で計測された各ずれ量を加算平均して平均ずれ量を算出する第2の工程と；該算出された平均ずれ量に基づいて加工された少なくとも1つの光学補正部材を前記投影光学系の物体面と像面との間の投影光路内に挿入する第3の工程と；前記光学補正部材を投影光路内に挿入した状態でマスクと感応性基板とを走査することにより、感応性の基

板上に投影されるパターン像に生じ得る前記平均ずれ量を補正して露光する第4の工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項19】 前記第1の工程は、前記投影露光装置内で前記感応性の基板を保持して移動可能な基板ステージの一部に取り付けられて前記計測マークの投影像を受光する微小開口を備えた空間像検出器を使って実行することを特徴とする請求項第18項に記載の露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の技術分野】本発明は、原版に形成されたパターンを投影光学系を通して感応性の基板上に精密に露光する方法と露光装置に関し、特に半導体回路素子や液晶表示素子等の回路デバイスを製造するリソグラフィ工程で使用される走査型の投影露光装置と、それによる露光方法及び回路デバイス製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】現在、半導体デバイスの製造現場では、波長365nmの水銀ランプのi線を照明光とした縮小投影露光装置、所謂ステッパーを使って最小線幅が0.3～0.35μm程度の回路デバイス(256MビットのD-RAM等)を量産製造している。同時に、1GビットD-RAM、4GビットD-RAMクラスの集積度を有し、最小線幅が0.25μm以下の次世代の回路デバイスを量産製造するための露光装置の導入が始まっている。

【0003】その次世代の回路デバイス製造用の露光装置として、KrFエキシマレーザ光源からの波長248nmの紫外パルスレーザ光、或いはArFエキシマレーザ光源からの波長193nmの紫外パルスレーザ光を照明光とし、回路パターンが描画されたレチクル(原版、マスク基板)と半導体ウェハとを縮小投影レンズ系の投影視野に対して相対的に1次元走査することで、ウェハ上の1つのショット領域内にレチクルの回路パターン全体を走査露光するステップアンドスキャン方式の投影露光装置が有力視されている。

【0004】このようなステップアンドスキャン方式の投影露光装置は、屈折光学素子(レンズ素子)と反射光学素子(凹面鏡等)とで構成される縮小投影光学系を搭載したパーキンエルマー社のマイクラ・スキャン露光装置として製品化され、市販されてきた。そのマイクラ・スキャン露光装置は、例えば1989年のSPIE, Vol. 1088のp. 424～433に詳細に説明されているように、円弧スリット状に制限された実効投影領域を介してレチクルのパターンの一部をウェハ上に投影しつつ、レチクルとウェハとを投影倍率(1/4縮小)に応じた速度比で走査移動させることで、ウェハ上のショット領域を露光するものである。

【0005】またステップアンドスキャン方式の投影露光方式として、エキシマレーザ光を照明光とし、円形の

投影視野を有する縮小投影レンズ系の実効投影領域を多角形(六角形)に制限し、その実効投影領域の非走査方向の両端を部分的にオーバーラップさせる方法、所謂スキャン&ステッチング法を組合わせたものが、例えば特開平2-229423号公報(Jain)で知られている。また、そのような走査露光方式を採用した投影露光装置の例は、特開平4-196513号公報(NC:西)、特開平4-277612号公報(NC:西)、特開平4-307720号公報(NC:太田)等にも開示されている。

【0006】従来の走査露光方式の投影露光装置のうち、投影光学系による実効投影領域を円弧スリット状、或いは直線スリット状に制限した方式では、走査露光の結果としてウェハ上に転写されるパターンの像歪み(ディストーション)は、当然のことながら投影光学系自体の各種収差、或いは照明光学系による照明条件に依存する。このような像歪みは、従来のステッパーのように投影視野内に包含されるレチクルの回路パターン像をウェハ上のショット領域内に一括転写する方式(静止露光方式)の場合にも重要な誤差バジェットになっていた。

【0007】そのため、従来のステッパーに搭載される投影光学系では、理想格子点を投影像面内に投影させたときに各格子点像で生じる像歪みベクトル(理想格子点の各点像の理想位置からのずれの方向と量)が、投影視野内の全体において平均的に小さくなるような条件で光学設計されている。そして、その像歪みベクトルを設計時の許容範囲内に収めるべく、高精度にレンズ素子や光学部材を加工し、複雑で手間のかかる検査を繰り返しながら投影光学系として組み上げていた。

【0008】そこで、このような高精度な投影光学系の製造上の難しさを少しでも緩和するために、組み立てられた投影光学系の像歪み特性を実測し、その実測された像歪み特性が投影視野内の各点で最小になるように、投影視野内の各点を通る主光線を部分的に偏向するように研磨された光学補正板(石英板)を投影光路内に挿入する手法が、例えば特開平8-203805号公報(NC)に開示されている。

【0009】さらに特開平6-349702号公報(ニコン)には、走査露光によって転写された感光基板上のレジスト像に生じる像歪み特性を改善するために、投影光学系を構成する一部のレンズ素子を光軸を中心にして回転させて投影光学系の収差特性を調整する方法が開示されている。またその他に、特開平4-127514号公報(NC:谷口)、特開平4-134813号公報(NC:白石)に開示されているように、投影光学系を構成する一部のレンズ素子を微動させて投影倍率、歪曲収差等を調整することも知られている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】従来のように、投影光学系の一部のレンズ素子を回転させたり、或いは光軸に

対する偏心、傾斜を加えたりして収差特性を調整する場合は、それで必ず良好な収差特性（像歪み特性）が得られる保証がないといった問題がある。さらにそのような調整手法は、安定な精度を確保することも困難であり、調整作業も試行錯誤的な要素が強く、手間がかかるといった問題もある。そしてこの手法の何よりも問題は、投影光学系の実効投影領域内の全体的な像歪み特性がある傾向になるように一様に調整、修正することはできても、実効投影領域内の局所的な像歪み特性のみを部分的に調整、修正することが困難なことである。

【0011】そこで、特開平8-203805号公報（NC：ニコン）に開示されているような光学補正板を作成し、それを投影光路中に挿入すると、実効投影領域内の局所的な像歪み特性を容易に改善できることが予測される。しかしながら、特開平8-203805号公報（NC：ニコン）に説明された従来の光学補正板は、走査露光に使われる投影光学系に適用することを想定したものではない。そのために、そこに開示された手法のまま光学補正板を製作すると、その設計、製造が極めて複雑になり、特に光学補正板の局所的な表面形状を波長オーダー（nm～ $\mu$ mのオーダー）で加工する精度も厳しくなってくる。

【0012】そこで本発明は、走査露光方法に適した光学補正素子を搭載した投影光学系を用いて、走査露光時に生じる像歪み誤差を容易に低減させる露光方法を提供することを目的とする。さらに本発明は、そのような光学補正素子を搭載した投影露光装置と、その露光装置を用いて回路デバイスを製造する方法を提供することを目的とする。

【0013】また本発明は、走査方式の投影露光装置に搭載された状態で未加工の光学補正素子を含む投影光学系の像歪み誤差を計測し、その計測結果に基づいて加工すべき光学補正素子の面形状等の加工条件や投影光学系への取付け条件（傾斜等）を自動的にシミュレーション可能なリソグラフィ装置用の結像性能自動計測システムを提供することを目的とする。

【0014】また本発明は、そのような結像性能自動計測システムを用いて、定期的に、或いは必要時に投影露光装置の性能を簡単に自己検定できるようにすることを目的とし、それによって、投影露光装置が製造ラインで使用されている間に生じ得る結像性能の変化、特にランダムな像歪み誤差（収差特性）の変化を直ちに求めることを目的とする。

【0015】

【課題を解決する為の手段】本発明は、マスク（レチクルR）のパターンを感光性の基板（レジスト層が形成されたウェハW）上に投影光学系（PL）を通して結像投影しつつ、マスク（R）と感光基板（W）とを投影光学系（PL）の視野に対して走査移動する方式の投影露光装置に適用すること、或いはそのような方式の投影露光

装置を用いて回路デバイスを製造することを前提としている。

【0016】請求項1に記載した発明は、所定の結像特性を有する投影光学系（PL）と、投影光学系（PL）の物体面側に保持されるマスク基板（R）と投影光学系（PL）の像面側に保持される感光基板（W）を投影光学系（PL）に対して1次元走査方向（Y方向）に移動させる駆動機構（レチクルステージ8とウェハステージ14）と、像面側に投影されるマスク基板（R）の部分的な像を1次元走査方向に所定の幅を有する実効投影領域（EIA）内に制限する制限手段（例えば照明用のレチクルブラインド7Lや投影光学系の中間像面のスリット開口等）とを備え、マスク基板（R）のパターンを感光基板（W）上に走査露光する投影露光装置に適用される。

【0017】そして本発明では、投影光学系（PL）の物体面側に配置した理想格子点（例えばテストレチクルTR上の計測用マーク）を像面側に投影すると理想格子点の夫々に対応した各像点を実効投影領域（EIA）内で像歪みベクトルを伴うものとしたとき、実効投影領域（EIA）内で1次元走査方向に並ぶ複数の像点の各像歪みベクトルを平均した平均ベクトル（VP(Xi)）を実効投影領域（EIA）の1次元走査方向と交差した非走査方向（X方向）の複数の位置の各々において所定の状態に補正するように光学加工された少なくとも1つの光学補正素子（像歪み補正板G1、アスコマ補正板G3、像面湾曲補正板G4）を、投影光学系（PL）内の所定位置に保持する補正素子保持手段（支持プレート120、プレート保持部130等）を設けるようにした。

【0018】以上の構成により本発明では、走査露光の際に照明光学系と投影光学系の両方の収差の影響を受けた像歪みベクトル、特にダイナミックなディストーション特性、アス・コマ特性、像面湾曲特性を良好に補正することが可能となる。また請求項2に記載した発明では、請求項1の装置における光学補正素子（G1、G3、G4）を、投影光学系による結像光路中で主光線が投影光学系の物体面または像面とほぼ垂直になるテレセントリック部に配置するようにした。

【0019】また請求項3に記載した発明では、請求項2の装置における補正光学素子（G1、G3、G4）を、物体面側と像面側の少なくとも一方に配置された透過性光学硝材で構成し、その透過性光学硝材の実効投影領域（EIA）に対応した表面部分を、非走査方向（X方向）の複数の位置の各々における平均ベクトル（VP(Xi)）をほぼ同一にするように、局所的に異なる面形状に光学加工した。これによって、ダイナミックなディストーション特性、アス・コマ特性、像面湾曲特性の各々に含まれるランダムな成分が良好に補正される。

【0020】また請求項4に記載した発明では、請求項3の装置における補正素子保持手段（120、130

等)が、透過性光学硝材を投影光学系(PL)の物体面または像面と平行な状態、或いは物体面または像面に対して微小傾斜した状態で保持するように構成した。これにより、光学加工された透過性光学硝材(光学補正素子G1, G3, G4)を投影光路内に装着するときの調整や、照明条件切替え時の微調整が容易に行なえるといった利点がある。

【0021】また請求項5に記載した発明では、請求項3の装置において非走査方向(X方向)の複数の位置の各々における平均ベクトル(VP(Xi))の方向性と絶対値が所定の関数に近似されるように、透過性光学硝材の表面を局所的に異なる面形状に光学加工した。これによって、ダイナミックなディストーション特性のうちのランダム成分は透過性光学硝材(光学補正素子G1, G3, G4)によって補正し、関数近似可能な残留成分は装置内の他の補正機構によって対応するといった振り分け補正が可能となり、光学補正素子(G1, G3, G4)の光学加工が容易になるといった利点がある。

【0022】また請求項6に記載した発明では、請求項3の装置における投影光学系を介して像面側に解像可能なパターン像の最小サイズを $\Delta r$ としたとき、非走査方向(X方向)の複数の位置の各々における平均ベクトルの夫々から線形誤差成分、或いは関数近似可能な誤差成分を除いたランダム誤差成分を $\pm(\Delta r/10)$ 以内にするように、透過性光学硝材の表面の面形状を局所的に光学加工する。これによって、最小線幅0.08~0.15 $\mu\text{m}$ 程度を解像する投影光学系に要求される収差規格を満たすことが可能となり、1G~4Gビットクラスの集積度の回路デバイスを量産製造することが可能となる。

【0023】さらに本願の請求項7に記載した発明は、所定の結像特性を有する投影光学系(PL)の物体面側に原版(レチクルR)を配置するとともに投影光学系の像面側に感応基板(ウェハW)を配置し、像面側に投影される原版(R)の部分的な像を1次元走査の方向(Y方向)に所定の幅を有する実効投影領域(EIA)内に制限した状態で、原版(R)と感応基板(W)とを1次元走査方向に移動させて原版(R)のパターンを感応基板(W)上に走査露光する方法に適用される。

【0024】そして本発明においては、物体面側に配置した理想格子点(例えばテストレチクルTR上の計測用マークの座標位置等)を像面側に投影するとその理想格子点の夫々に対応した各像点を実効投影領域(EIA)内で像歪みベクトル(スタティックな像歪みベクトルDV(i,j))を伴うものとしたとき、実効投影領域(EIA)内で1次元走査方向に並ぶ複数の像点の各像歪みベクトル(DV(i,j))を平均化した平均ベクトル(ダイナミックな像歪みベクトルVP(Xi))が実効投影領域(EIA)の1次元走査方向と交差した非走査方向(X)の複数の位置の各々において所定の状態になるよ

うに光学加工された少なくとも1つの光学補正素子(像歪み補正板G1, アス・コマ補正板G3, 像面湾曲補正板G4)を、投影光学系(PL)による結像光路内に配置した状態で原版(R)のパターンを感応基板(W)上に走査露光するようにした。

【0025】以上の構成の本発明によれば、走査露光の際に照明光学系と投影光学系の両方による収差の影響を受けた像歪みベクトル、特にダイナミックなディストーション特性、アス・コマ特性、像面湾曲特性を良好に補正することが可能となる。また請求項8に記載した発明では、請求項7に記載の原版(R)を回路デバイス製造用のパターンが形成されたマスク基板(R)とし、請求項7に記載の感応基板(W)をレジストの塗布された半導体ウェハ(W)とし、請求項7に記載の光学補正素子(G1, G3, G4)を含む投影光学系(PL)を屈折光学素子のみ、屈折光学素子と反射光学素子の組み合わせ、或いは反射光学素子のみで構成される縮小投影系(PL)とし、その縮小投影系を用いてマスク基板(R)のパターンを半導体ウェハ(W)上に走査露光することで半導体ウェハ(W)上に回路デバイス(ショット領域内に露光)を形成するようにした。

【0026】そして請求項9の発明では、請求項8の光学補正素子として、投影光学系(PL)の物体面側に配置されて、投影光学系(PL)を用いた走査露光時の平均化で生じ得る前記平均ベクトル(VP(Xi))で規定されるダイナミックなディストーション特性を補正する像歪み補正板(G1)を設けるようにした。また請求項10の発明では、請求項8の光学補正素子として、投影光学系(PL)の像面側に配置されて、投影光学系(PL)を用いた走査露光時に平均化されて生じ得る平均ベクトル(VP(Xi))に基づいて規定されるダイナミックなアス収差特性を補正するアス補正板(G3)を設けるようにした。

【0027】また請求項11の発明では、平均化された平均ベクトル(VP(Xi))が非走査方向(X方向)の位置に応じた所定の関数(1次関数や2次関数等)に近似されるか、又はその位置によらずほぼ一定(例えばゼロ)に近似されるように、光学補正素子(G1, G3, G4)の表面を局所的に光学研磨して作製するようにした。

【0028】さらに請求項12に記載した発明は、マスク(レチクルR)上のパターン領域の一部を照明系(7)からの照明エネルギー(ILB)で照射し、そのパターン領域の一部を投影光学系(PL)を介して感応性の基板(W)上に投影しつつレチクル(R)と基板(W)とを投影光学系の視野(IF)に対して1次元移動させることにより、基板(W)上にマスクのパターン領域の全体像を走査露光する露光装置の調整方法に適用される。

【0029】そして本発明においては、投影光学系(P



L)の物体面側または像面側における照明エネルギーの光学的な収差を補正するための照明収差補正部材(照明NA補正板7F)を照明系内に調整して設置する第1の工程と、理想格子点またそれに準じた点の各々に計測用マーク(TM(i,j))が形成されたテストレチクル(TR)を投影光学系の物体面に配置し、第1の工程によって補正された収差状態の照明エネルギーをテストレチクル(TR)に照射することによって複数の計測用マーク(TM(i,j))の各像を投影光学系(P)の像面側に投影する第2の工程と、計測用マーク(TM(i,j))の各投影像に含まれるスタティックな像歪み量(DV(i,j))を計測し、そのスタティックな像歪み量(DV(i,j))に基づいて走査露光時に平均化されるダイナミックな像歪み量(VP(Xi))を非走査方向(X方向)の所定の位置毎に決定する第3の工程と、ダイナミックな像歪み量(VP(Xi))のうちの少なくともランダムな成分が補正されるように加工された投影収差補正部材(像歪み補正板G1)を投影光学系(PL)の物体面と像面との間に調整して設置する第4の工程とを実施するようにした。

【0030】これによって本発明では走査方式の投影露光装置の結像性能を、1G~4Gビットクラスの集積度(線幅0.08~0.15 $\mu$ m)を有する回路デバイスの量産製造に適したものに調整可能となる。また請求項13の発明では、請求項12における照明収差補正部材が、マスク(R)又はテストレチクル(TR)に照射される照明エネルギーの全体的なテレセン誤差、局所的なテレセン誤差、及び投影光学系(PL)の視野内の位置に応じて変化する照明開口数の誤差の少なくとも1つの誤差による収差を補正するように構成した。

【0031】これによって投影光学系自体のダイナミックなディストーション特性、ダイナミックなアス・コマ特性、ダイナミックな像面湾曲特性等の諸収差を計測する際の精度が向上し、各種の光学補正素子(G1, G3, G4)を高精度に製作できるといった利点がある。また請求項14の発明では、請求項12における投影収差補正部材として、投影光学系による投影光路内の像面近傍に配置されて、第3の工程で計測されたスタティックな像歪み量(DV(i,j))に基づいて特定されるアス収差特性、又は像面湾曲特性を補正するように表面を局部的に研磨加工したアス収差補正板(G3)、又は像面湾曲補正板(G4)を設けるようにした。

【0032】また請求項15の発明では、請求項12における投影収差補正部材として、投影光学系による投影光路内の物体面近傍に配置されて、第3の工程で決定されたダイナミックな像歪み量(VP(Xi))に基づいて特定されるダイナミックなディストーション特性を補正するように表面を局部的に研磨加工した像歪み補正板(G1)を設けるようにした。

【0033】また請求項16に記載された発明は、所定

形状の照明領域内のマスクパターンの像を感応性の基板(ウェハW)上に投影するために複数のレンズ素子(G2, Ga; GS1~GS4等)から成る投影光学系(PL)を有し、照明領域に対してマスク(レチクルR)を所定方向に走査し、照明領域と共役な所定形状の投影領域(EIA)に対して基板(W)を所定方向に走査することによって、マスク(R)のパターン像を基板(W)上に走査露光する投影露光装置を用いた露光方法に適用される。

【0034】そして本発明では、走査方向(Y)及び非走査方向(X)に配列されたマスク(例えばテストレチクルTR)上の複数の計測マーク(TM(i,j))の各投影像を投影光学系(PL)を介して感応性の基板(W)上に走査露光する第1の工程と(図30)、計測マークの投影像(TM'(i,j))の感応性基板への露光結果に基づいて、理想格子点位置からの各ずれ量をダイナミックな収差誤差として計測する第2の工程と、その計測された収差誤差を各計測点の走査方向に並ぶ計測点(例えば図31中の線JLa~JLd上の各々に沿った投影像TM'(i,j))について加算平均して平均的な収差誤差を算出する第3の工程と、その算出された平均的な収差誤差に基づいて加工された少なくとも1つの光学補正部材(例えば像歪み補正板G1)を投影光学系(PL)の物体面と像面との間の投影光路内に挿入する第4の工程と、その光学補正部材(G1)を投影光路内に挿入した状態でマスク(R)と感応性基板(W)とを走査するで、感応性の基板上に投影されるパターン像に生じる得る平均的な収差誤差を補正して露光する第5の工程とを実施するようにした。

【0035】本発明は、所謂試し焼きによってウェハ上に形成された計測用マークの投影像を計測していくものであり、実際の走査露光時と全く同じ条件で露光されたマーク投影像を検出することから、レジストの特性を含めた実測が可能となり、光学補正部材(G1)の作成をより高精度にすることができる。また請求項17に記載された発明は、所定形状の照明領域内のマスクパターンの像を感応性の基板(ウェハW)上に投影するために複数のレンズ素子(G2, Ga; GS1~GS4等)から成る投影光学系(PL)を有し、照明領域に対してマスク(レチクルR)を所定方向に走査し、照明領域と共役な所定形状の投影領域(EIA)に対して基板(W)を所定方向に走査することによって、マスク(R)のパターン像を基板(W)上に走査露光する投影露光装置を用いた露光方法に適用される。

【0036】そして本発明では、走査方向(Y)及び非走査方向(X)に配列されたマスク(テストレチクルTR)上の計測マーク(TM(i,j))の各投影像を投影光学系(PL)を介して感応性の基板(W)上に静止露光する第1の工程と、計測マーク(TM(i,j))の投影像の感応性基板(W)への露光結果に基づいて理想格子点

位置からの各ずれ量(スタティックな像歪みベクトル $DV(i,j)$ )を計測する第2の工程と、その計測された各ずれ量( $DV(i,j)$ )を各計測点の走査方向に並ぶ計測点について加算平均して平均ずれ量(ダイナミックな像歪みベクトル $VP(Xi)$ )を算出する第3の工程と、その算出された平均ずれ量( $VP(Xi)$ )に基づいて加工された少なくとも1つの光学補正部材(例えば像歪み補正板 $G1$ )を投影光学系( $PL$ )の物体面と像面との間の投影光路内に挿入する第4の工程と、光学補正部材( $G1$ )を投影光路内に挿入した状態でマスク( $R$ )と感応性基板( $W$ )とを走査することにより、感応性の基板上に投影されるパターン像に生じ得る平均ずれ量( $VP(Xi)$ )を補正して露光する第5の工程とを実施するようにした。

【0037】さらに請求項18に記載の発明は、所定形状の照明領域内のマスクパターンの像を感応性の基板(ウェハ $W$ )上に投影するために複数のレンズ素子( $G2, Ga; GS1 \sim GS4$ 等)から成る投影光学系( $PL$ )を有し、照明領域に対してマスク(レチクル $R$ )を所定方向に走査し、照明領域と共役な所定形状の投影領域( $EIA$ )に対して基板( $W$ )を所定方向に走査することで、マスクのパターン像を基板上に走査露光する投影露光装置を用いた露光方法に適用される。

【0038】そして本発明では、マスク(例えばテストレチクル $TR$ )上で走査方向( $Y$ 方向)及び非走査方向( $X$ 方向)に配列された複数の計測マーク( $TM(i,j)$ )の各投影像を投影光学系( $PL$ )の像面側で光電的に検出し、その検出結果に基づいて計測マーク( $TM(i,j)$ )の投影像の理想格子点位置からの各ずれ量(スタティックな像歪みベクトル $DV(i,j)$ )を計測する第1の工程と、複数の計測マーク( $TM(i,j)$ )のうちで走査方向に並んだ計測マークの各々について第1の工程で計測された各ずれ量( $DV(i,j)$ )を加算平均して平均ずれ量(ダイナミックな像歪みベクトル $VP(Xi)$ )を算出する第2の工程と、その算出された平均ずれ量( $VP(Xi)$ )に基づいて加工された少なくとも1つの光学補正部材(像歪み補正板 $G1$ 、アス収差補正板 $G3$ 、像面湾曲補正板 $G4$ の少なくとも1つ)を投影光学系( $PL$ )の物体面と像面との間の投影光路内に挿入する第3の工程と、光学補正部材( $G1, G3, G4$ )を投影光路内に挿入した状態でマスク( $R$ )と感応性基板( $W$ )とを走査することにより、感応性の基板上に投影されるパターン像に生じ得る平均ずれ量( $VP(Xi)$ )を補正して露光する第4の工程とを実施するようにした。

【0039】そして請求項19の発明では、請求項18で規定した第1の工程においては、投影露光装置内で感応性の基板を保持して移動可能な基板ステージ(ウェハステージ14とテーブル $TB$ )の一部に取り付けられて計測マーク( $TM(i,j)$ )の投影像を受光する微小開口(141)を備えた空間像検出器( $KES$ )を使って実

行するようにした。

【0040】このような空間像検出器( $KES$ )を使うと、オンボディ状態で投影光学系の結像特性上の各種収差(ディストーション特性、テレセン誤差、アスコマ特性、像面湾曲特性等)を計測できるため、投影光学系単体の収差性能を別の計測装置で検査するよりも迅速となり、実際の収差性能を正確に把握できるとともに、オンボディ状態での経時的な収差変化も簡単に調べられるといった利点もある。

【0041】

【発明の実施形態】そこで本発明の実施に好適な投影露光装置の全体的な構成を図1、図2を参照して説明する。図1の投影露光装置は、マスク基板としてのレチクルに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系 $PL$ を介して感応基板としての半導体ウェハ $W$ 上に投影しつつ、レチクルとウェハ $W$ とを投影光学系 $PL$ の視野に対して1次元方向(ここでは $Y$ 方向)に相対走査することによって、レチクルの回路パターンの全体をウェハ $W$ 上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0042】そして図1の投影露光装置は、64M~1Gbitクラス以上の半導体メモリ素子( $D-RAM$ )相当の集積度と微細度を持つマイクロ回路デバイスの量産製造に必要とされる最小線幅0.3~0.15 $\mu m$ 程度のパターン解像力を得るために、エキシマレーザ光源1からの紫外域のパルスレーザ光を露光用照明光として利用する。エキシマレーザ光源1は、代表的には波長248nmの $KrF$ エキシマレーザ光、或いは波長193nmの $ArF$ エキシマレーザ光をパルス発光する。

【0043】そのエキシマレーザ光の波長幅は、露光装置の照明系や投影光学系 $PL$ を構成する各種の屈折光学素子に起因した色収差が許容範囲内になるように狭帯化されている。狭帯化すべき中心波長の絶対値や狭帯化幅(0.2 $\mu m$ ~300 $\mu m$ の間)の値は、操作パネル2上に表示されるとともに、必要に応じて操作パネル2から微調整できるようになっている。また操作パネル2からはパルス発光のモード(代表的には自励発振、外部トリガー発振、メンテナンス用発振の3つのモード)が設定できる。

【0044】尚、エキシマレーザ光源1は、通常は露光装置本体が設置される超クリーンルームから隔離された別の部屋(クリーン度の低いサービスルーム)に設置されるため、操作パネル2もそのサービスルーム内に設けられる。さらに、エキシマレーザ光源1には操作パネル2とインターフェイスされる制御用コンピュータが内蔵され、このコンピュータは通常の露光動作の間は、後述する露光装置制御用のミニコンピュータ32からの指令に応答してエキシマレーザ光源1のパルス発光を制御する。

【0045】さて、エキシマレーザ光源1からのエキシ

マレーザ光は遮光性の管3を介して露光装置のビーム受光系5に導かれる。ビーム受光系5内には、露光装置の照明光学系7の光軸に対してエキシマレーザ光が常に所定の位置関係で入射するように、エキシマレーザ光の照明光学系7への入射位置や入射角度を最適に調整する複数の可動反射鏡が設けられている。

【0046】このように、エキシマレーザを光源とする露光装置の一例は、特開昭57-198631号公報（IBM）、特開平1-259533号公報（NC：市原）、特開平2-135723号公報（NC：間）、特開平2-294013号公報（NC：植村）等に開示され、エキシマレーザ光源をステップアンドスキャン露光に利用した露光装置の一例は、特開平2-229423号公報、特開平6-132195号公報、特開平7-142354号公報等に開示されている。従って図1の露光装置においても、上記の各特許公報に開示された基礎技術をそのまま、或いは部分的に変更して適用することが可能である。

【0047】ところで照明光学系7内には、後で図2を参照して詳細に説明するが、エキシマレーザ光のパルス毎の平均エネルギーを調整する可変減光器、エキシマレーザ光を一樣な強度分布の照明光にするフライアイレンズ（オプティカルインテグレータ）系、走査露光時のレチクル照明光を矩形スリット状に制限するレチクルブラインド（照明視野絞リ）、ブラインドの矩形スリット状の開口をレチクル上の回路パターン領域に結像する結像系（コンデンサーレンズを含む）等が設けられている。

【0048】レチクルに照射される矩形スリット状の照明光は、図1中の投影光学系PLの円形投影視野の中央にX方向（非走査方向）に細長く延びるように設定され、その照明光のY方向（走査方向）の幅はほぼ一定に設定されている。尚、レチクル上の回路パターン領域周辺の遮光帯の幅を狭くしたり、レチクルの走査移動ストロークを極力短くしたい場合は、例えば特開平4-196513号公報に開示されているように走査露光中にレチクルブラインドの走査方向の幅を変化させる機構を設けるのが望ましい。

【0049】さて、レチクルは図1中のレチクルステージ8上に吸着保持され、レチクルステージ8は走査露光のためにリニアモータ等によってレチクルベース定盤10上をY方向に大きなストロークで直線移動するとともに、X方向と $\theta$ 方向に関してもボイスコイルモータ（VCM）、ピエゾ素子等によって微小移動可能に設けられている。そしてレチクルベース定盤10は、投影光学系PLのフランジを固定する本体コラム定盤12から上方に立設された4本の支柱11の上に固定されている。

【0050】本体コラム定盤12は、本実施例では内部を空洞にした箱状に形成され、その空洞内にはウェハWを載置する可動ステージ本体14を支持するベース定盤15が固定されている。また図1には、可動ステージ本

体14のX方向の位置を計測するレーザ干渉計16Xのみが示されているが、可動ステージ本体14のY方向の位置を計測するレーザ干渉計16Yも同様に設けられている。そして図1中の可動ステージ本体14は、ウェハ搬送ロボット20のアーム22の先端に支持されたウェハWを受け取るローディング位置、又は可動ステージ本体14のホルダー上のウェハをアーム22に受け渡すアンローディング位置に静止しているものとする。

【0051】さらに本体コラム定盤12の4隅の各々には、装置全体を床から支持するための防振機能付のマウント台18が設けられている。そのマウント台18は装置全体の自重をエアシリンダを介して支えるとともに、装置全体の傾き、Z方向の変位、及び装置全体のX、Y方向の変位を、フィードバック制御やフィードフォワード制御によりアクティブに補正するためのアクチュエータと各種のセンサーを備えている。

【0052】ところで、図1に示した露光装置本体の全体的な動作は、装置本体内の各構成部分（エキシマレーザ光源1、照明光学系7、レチクルステージ8、ウェハ用の可動ステージ本体14、搬送ロボット20等）の各々を個別に制御する複数のユニット制御ボード31、各制御ボード31を統括的に制御するミニコンピュータ32、そして操作パネル33とディスプレイ34等を含む制御ラック30によって管理される。各制御ボード31内にはマイクロプロセッサ等のユニット側コンピュータが設けられ、これらのユニット側コンピュータがミニコンピュータ32と連携することによって複数枚のウェハの一連の露光処理が実行される。

【0053】その一連の露光処理の全体的なシーケンスはミニコンピュータ（以下、ミニコンとする）32内に記憶されたプロセスプログラムによって管理される。プロセスプログラムはオペレータが作成した露光処理ファイル名のもとに、露光すべきウェハに関する情報（処理枚数、ショットサイズ、ショット配列データ、アライメントマーク配置データ、アライメント条件等）、使用するレチクルに関する情報（パターンの種別データ、各マークの配置データ、回路パターン領域のサイズ等）、そして露光条件に関する情報（露光量、フォーカスオフセット量、走査速度のオフセット量、投影倍率オフセット量、各種の収差や像歪みの補正量、照明系の $\sigma$ 値や照明光NA等の設定、投影レンズ系のNA値設定等）をパラメータ群のパッケージとして記憶するものである。

【0054】ミニコン32は、実行指示されたプロセスプログラムを解読してウェハの露光処理に必要な各構成要素の動作を、対応するユニット側コンピュータにコマンドとして次々に指令していく。このとき、各ユニット側コンピュータは1つのコマンドを正常終了すると、その旨のステータスをミニコン32に送出し、これを受けたミニコン32はユニット側コンピュータに対して次のコマンドを送る。このような一連の動作のなかで、ウェ

ハ交換のコマンドがミニコン32から送出されると、可動ステージ本体14の制御ユニットとウェハ搬送ロボット20の制御ユニットとが協同して、可動ステージ本体14とアーム22（ウェハW）とは図1のような位置関係に設定される。

【0055】さらにミニコン32には、本発明の実施と関連した複数のユーティリティソフトウェアが搭載されている。そのソフトウェアの代表的なものは、(1)投影光学系や照明光学系の光学特性を自動的に計測し、投影像の質（ディストーション特性、アス・コマ特性、テレセン特性、照明開口数特性等）を評価するための計測プログラム、(2)評価された投影像の質に応じた各種の補正処理を実施するための補正プログラムの2種類である。これらのプログラムは、図1の装置構成を詳細に示した図2中の対応する構成部分と協同して動作するように構成され、その動作については後述する。さて、図2の構成において図1中の構成部材と同一の機能のものについては同じ符号を付けてある。図2において、エキシマレーザ光源1からの紫外パルス光は管3を通して可変減光器7Aによって所定のピーク強度に調整された後、ビーム整形器7Bによって所定の断面形状に整形される。その断面形状は照明光の強度分布を一様化するための第1フライアイレンズ系7Cの入射端の全体形状と相似になるように設定される。

【0056】第1フライアイレンズ系7Cの射出端側に生成された多数の点光源の各々から発散する紫外パルス光は、被照射面（レチクル面又はウェハ面）に生じる干渉縞や微弱なスペックを平滑化するための振動ミラー7D、集光レンズ系7E、照明光の被照射面における開口数の方向性（照明NA差）を調整する照明NA補正板7Fを介して第2フライアイレンズ系7Gに入射する。その第2フライアイレンズ系7Gは、第1フライアイレンズ系7C、集光レンズ系7Eと協同してダブルフライアイレンズ系を構成する。そのようなダブルフライアイレンズ系と振動ミラー7Bとを組み合わせた構成については、例えば特開平1-235289号公報（NC：市原）、特開平7-142354号公報（NC：小沢）に詳しく開示されている。

【0057】さて、第2フライアイレンズ系7Gの射出端側には、ケーラー照明における光源面形状を輪帯、小円形、大円形、或いは4つ目等に制限するための切り替え式の照明絞板7Hが配置され、その絞板7Hを通った紫外パルス光はミラー7Jで反射され、集光レンズ系7Kによって照明視野絞り（レチクルブラインド）7Lの開口部を一様な強度分布となって照射する。

【0058】但しその強度分布には、エキシマレーザ光源1からの紫外パルス光の可干渉性に依存した干渉縞や微弱なスペックルが数%程度のコントラストで重畳し得る。そのためウェハ面上には、干渉縞や微弱なスペックルによる露光量むらが生じ得るが、その露光量むらは先

に挙げた特開平7-142354号公報のように、走査露光時のレチクルやウェハWの移動と紫外パルス光の発振とに同期させて振動ミラー7Dを振ることで平滑化される。

【0059】こうしてレチクルブラインド7Lの開口部を通った紫外パルス光は、集光レンズ系7M、照明テレセン補正板（傾斜可能な石英の平行平板板）7N、ミラー7P、及び主コンデンサーレンズ系7Qを介してレチクルR上に照射される。その際、レチクルR上にはレチクルブラインド7Lの開口部と相似形の照明領域が形成されるが、本実施例ではその照明領域を走査露光時のレチクルRの移動方向（Y方向）と直交したX方向に直線的に伸びたスリット状又は矩形状にする。

【0060】そこでレチクルブラインド7Lの開口部は、集光レンズ系7M、コンデンサーレンズ系7QによってレチクルRと共役を設定され、その開口部もX方向に伸びたスリット状又は矩形状に形成されている。このようなレチクルブラインド7Lの開口部によって、レチクルR上の回路パターン領域のうちの一部分が照明され、その照明された回路パターン部分からの結像光束が投影レンズ系PLを介してウェハW上に1/4又は1/5に縮小されて投影される。

【0061】本実施例において、投影レンズ系PLは物体面（レチクルR）側と像面（ウェハW）側の両方でテレセントリック系になっており、円形の投影視野を有しているものとする。また投影レンズ系PLは、本実施例では屈折光学素子（レンズ素子）のみで構成されているものとするが、特開平3-282527号公報（NC）に開示されているように屈折光学素子と反射光学素子（凹面鏡やビームスプリッタ等）を組み合わせたカタディオプトリック系としてもよい。

【0062】この投影レンズ系PL内の物体面に近い位置には、光軸方向への微小移動や微小傾斜が可能なテレセン部レンズ系G2が含まれており、このレンズ系G2の作動によって投影レンズ系PLの倍率（等方的な歪曲収差）、或いは樽形、糸巻き形、台形等の非等方的な歪曲収差を微小に調整することができる。さらに投影レンズ系PL内の像面に近い位置には、投影される像のうち特に像高の大きい部分（投影視野内の周辺に近い部分）に生じ易いアス・コマ収差を低減させるためのアス・コマ収差補正板G3が含まれている。

【0063】そして本実施例では、円形視野内の実効的な像投影領域（レチクルブラインド7Lの開口部で規定）に形成される投影像に含まれるランダムなディストーション成分を有効に低減させるための像歪み補正板G1が、投影レンズ系PLのレンズ系G2とレチクルRとの間に設けられる。この補正板G1は、数ミリ程度の厚みを持つ平行な石英板の表面を局所的に研磨し、その研磨部分を通る結像光束を微小に偏向させるものである。

【0064】このような補正板G1の作り方の一例は、

特開平 8 - 2 0 3 8 0 5 号公報 (ニコン) に詳細に開示されており、本実施例においても基本的にはその公報に示された手法を応用するものとするが、その補正板 G 1 が走査露光用の投影光学系に適用される点でその作り方には差異があり、詳しくは後で述べる。以上の照明光路、投影光路を成す各光学部材に対して、本実施例の装置では、可変減光器 7 A の減光フィルターを切り替えたり、或いは連続可変したりするための駆動機構 4 0、振動ミラー 7 B の振動 (偏向角) を制御する駆動系 4 1、レチクルブラインド 7 L の開口部形状、特にスリット幅を連続的に可変にするためにブラインドのブレードを移動させる駆動機構 4 2、投影レンズ系 P L 内のレンズ系 G 2 を上述のように微動させる駆動系 4 3 が設けられている。

【 0 0 6 5 】さらに本実施例においては、投影レンズ系 P L 内の特定の空気間隔室を外気に対して密封し、その密封室内の気体圧力を例えば  $\pm 20 \text{ mmHg}$  程度の範囲内で加減圧することによって等方的な歪曲収差 (投影倍率) を補正するレンズ制御器 4 4 も設けられている。このレンズ制御器 4 4 はレンズ系 G 2 の駆動系 4 3 に対する制御系にもなっており、レンズ系 G 2 の駆動によって投影像の倍率を変えるか、投影レンズ系 P L 内の密封室の圧力制御によって投影像の倍率を変えるかを切替え制御したり、或いは併用制御したりする。

【 0 0 6 6 】ただし、波長  $193 \text{ nm}$  の Ar F エキシマレーザ光源を照明光とした場合は、照明光路内と投影レンズ系 P L の鏡筒内とが窒素ガスやヘリウムガスで置換されるため、投影レンズ系 P L 内の特定の空気間隔室内の圧力を加減圧する機構を省略してもよい。さて、レチクル R を保持するレチクルステージ 8 の一部には、その移動位置や移動量を計測するためのレーザ干渉計 4 6 からの測長ビームを反射する移動鏡 4 8 が取り付けられている。図 2 において、干渉計 4 6 は X 方向 (走査方向) 計測に適するように示されているが、実際には Y 方向の位置計測用の干渉計と  $\theta$  方向 (回転方向) 計測用の干渉計とが設けられ、それらの各干渉計に対応した移動鏡がレチクルステージ 8 に固定されている。そこで以下の説明では、便宜上、レーザ干渉計 4 6 によって X、Y、 $\theta$  方向計測が同時に個別に行われるものとする。

【 0 0 6 7 】その干渉計 4 6 によって計測されるレチクルステージ 8 (即ちレチクル R) の位置情報 (又は速度情報) はステージ制御系 5 0 に送られる。ステージ制御系 5 0 は、基本的には干渉計 4 6 から出力される位置情報 (或いは速度情報) が指令値 (目標位置、目標速度) と一致するようにレチクルステージ 8 を移動させる駆動系 (リニアモータ、ボイスコイルモータ、ピエゾモータ等) 5 2 を制御する。

【 0 0 6 8 】一方、ウェハステージ 1 4 上にはウェハ W を真空吸着によって平坦化矯正して保持するテーブル T B が設けられる。このテーブル T B は、ウェハステージ

1 4 に設けられた 3 つのアクチュエータ (ピエゾ、ボイスコイル等) Z A C によって Z 方向 (投影光学系 P L の光軸方向) と X Y 平面に対する傾斜方向とに微動される。これらのアクチュエータ Z A C の駆動は駆動系 5 6 によって行われ、その駆動系 5 6 に対する駆動指令はウェハステージの制御系 5 8 から出力される。

【 0 0 6 9 】尚、図 2 には示していないが、投影光学系 P L の結像面とウェハ W の表面との Z 方向の偏差 (フォーカス誤差) や傾斜 (レベリング誤差) を検出するフォーカス・レベリングセンサーが投影光学系 P L の近傍に設けられ、制御系 5 8 はそのセンサーからのフォーカス誤差信号やレベリング誤差信号に応答して駆動系 5 6 を制御する。そのようなフォーカス・レベリング検出系の一例は、特開平 7 - 2 0 1 6 9 9 号公報 (NC : 興村) に詳細に開示されている。

【 0 0 7 0 】またテーブル T B の一部には、ウェハステージ 1 4 の移動によるウェハ W の X Y 平面内での座標位置を計測するために使われる移動鏡 6 0 が固定されている。そして移動鏡 6 0 の位置がレーザ干渉計 6 2 によって計測される。ここでは、移動鏡 6 0 がステージ 1 4 の X 方向の移動位置 (或いは速度) を計測するために設けられているが、実際には Y 方向の移動位置計測用の移動鏡も設けられ、その Y 方向用移動鏡に対しても同様にレーザ干渉計からの測長ビームが照射される。尚、図 2 中のレーザ干渉計 6 2 は図 1 中のレーザ干渉計 1 6 X に相当している。

【 0 0 7 1 】さらにレーザ干渉計 6 2 は、ウェハステージ 1 4 の X Y 移動やテーブル T B の微動によって X Y 平面内で生じ得る微小回転誤差 (ヨーイング成分も含む) をリアルタイムに計測する差動干渉計も備えており、計測したウェハ W の X、Y、 $\theta$  方向の各位置情報はウェハステージ制御系 5 8 に送られる。その制御系 5 8 は干渉計 6 2 で計測される位置情報や速度情報と指令値とに基づいて、ウェハステージ 1 4 を X、Y 方向に駆動する駆動系 (例えば 3 つのリニアモータ) 6 4 に駆動信号を出力する。

【 0 0 7 2 】また同期制御系 6 6 は、特に走査露光時にレチクルステージ 8 とウェハステージ 1 4 とを同期移動させる場合、レチクルステージ制御系 5 0 による駆動系 5 2 の制御とウェハステージ制御系 5 8 による駆動系 6 4 の制御とを相互に連動させるために、各干渉計 4 6、6 2 で計測されるレチクル R とウェハ W の各位置や各速度の状態をリアルタイムにモニターし、それらの相互の関係が所定のものとなるように管理する。その同期制御系 6 6 は図 1 中に示したミニコン 3 2 からの各種のコマンドやパラメータによって制御される。

【 0 0 7 3 】さて本実施例では、投影光学系 P L を通して投影されるレチクル R 上のテストパターンの像やアラ イメントマークの像を光電検出するための空間像検出器 K E S がテーブル T B の一部に固定されている。この空

間像検出器KESは、その表面がウェハWの表面の高さ位置とほぼ同じになるように取り付けられている。ただし実際には、テーブルTBをZ方向の全移動ストローク（例えば1mm）の中心に設定したときに、投影光学系PLの結像面と空間像検出器KESの表面とが合致するように設定されている。

【0074】そして空間像検出器KESの表面には、投影光学系PLによって投影された像の一部を透過するマルチスリット、或いは矩形開口が形成され、それらのスリットや開口を透過した像光束は光電素子によって光量として検出される。本実施例では、空間像検出器KESによって投影光学系PLの結像性能や照明光学系の照明特性を計測し、その計測結果に基づいて図2中に示した各種の光学要素や機構を調整することができる。また本実施例の図2に示した装置構成においては、ウェハW上の各ショット領域毎に形成されたアライメントマークや、空間像検出器KESの表面に形成された基準マークを光学的に検出するオフアクシス方式のアライメント光学系ALGが投影光学系PLの直近に配置されている。このアライメント光学系ALGは、ウェハW上のレジスト層に対して非感光性の照明光（一様照明又はスポット照明）を対物レンズを通して照射し、アライメントマークや基準マークからの反射光を対物レンズを介して光電的に検出する。

【0075】その光電検出されたマーク検出信号は信号処理回路68によって所定のアルゴリズムの下で波形処理され、マークの中心がアライメント光学系ALG内の検出中心（指標マーク、撮像面上の基準画素、受光スリット、或いはスポット光等）と合致するようなウェハステージ14の座標位置（ショットアライメント位置）、或いは検出中心に対するウェハマーク、基準マークの位置ずれ量が干渉計62と共同して求められる。その求められたアライメント位置または位置ずれ量の情報はミニコン32に送られ、ウェハステージ14の位置決め、ウェハW上の各ショット領域に対する走査露光の開始位置の設定等に使われる。次に、本実施例における1つの特徴的な構成としての像歪み補正板G1の作用、構成とその製造方法について詳述するが、その前に円形投影視野を有する投影光学系におけるディストーション特性について、図3を参照して簡単に説明しておく。

【0076】図3において、円形の投影視野IFはウェハW側（像面側）の視野を表わし、座標系XYの原点を投影光学系PLの光軸AXと一致させてあるものとする。また図3中の座標系XY内に規則的に配列された複数の点GP(Xi,Yj)は光軸AXを原点とする理想格子点を表わし、各理想格子点GP(Xi,Yj)における矢印がその像面内位置でのディストーション量（像歪みベクトル）DV(Xi,Yj)を表わしている。

【0077】図3のディストーション特性からも判るように、この種の投影光学系では光軸AXの近傍では像歪

みベクトルを20nm以下に抑えることが可能であるが、投影視野IFの外周に近づくにつれて、一般的には像歪みベクトルの絶対値も大きくなる傾向にある。それらの像歪みベクトルDV(Xi,Yj)が像高値（光軸AXからの距離）やXY位置に応じた簡単な関数に従ったものであれば、その関数に応じた補正が可能な可動レンズ素子G2やレンズ制御系44を用いて、像歪みベクトルDV(Xi,Yj)を投影視野IF内で全体的に小さくすることが可能である。

【0078】しかしながら図3に示したディストーション特性からも理解できるように、各像歪みベクトルDV(Xi,Yj)は互いにランダムな成分も含んでおり、例え特定の関数に応じた補正を行ったとしても、ランダム成分は残存することになる。そのような像歪みベクトルDV(Xi,Yj)に含まれるランダムな誤差成分の残存は、静止露光の場合は投影された回路パターン像内の各点でそのままランダムなディストーション誤差として現れる。

【0079】一方、走査露光の場合は、走査露光時のウェハWの移動方向に並んだ複数の像点の各々でスタティックに生じている像歪みベクトルが実効的な露光視野（露光スリットの幅）内で平均化、或いは積算化されたダイナミックな像歪みベクトルとなって現れる。この場合も、特定の関数に従ったスタティックなディストーション特性を補正したとしても、像面内の各点に残存するランダムなディストーション誤差成分によって、結果的にはランダムな像歪みベクトルが残存してしまう。

【0080】そこで、このようなランダムな像歪みベクトルを低減し、走査露光時に最良のディストーション特性を得るために設けられたものが、図2中に示した像歪み補正板G1である。本実施例における補正板G1は、石英や螢石の平行平板の表面の一部分を波長オーダの精度で研磨し、その表面の一部に所定の微小斜面を形成したものと構成され、その微小斜面を通る局所的な像光束中の主光線の傾きを極めて僅かな量だけ偏向させることにより、像面内でのスタティックな像歪みベクトルを変化させるものである。

【0081】ここで、投影視野IF内で生じるスタティックなディストーション特性と、走査露光時に生じるダイナミックなディストーション特性との関係について、図4を参照して説明する。図4において、円形視野IFは投影光学系PLの像面側の視野を表し、その中心（光軸AXの位置）に座標系XYの原点があるものと仮定する。

【0082】図1、2の装置ではレチクルRとウェハWとがY方向に相対走査されるため、実効的な投影領域EIAは視野IF内でX軸を中心としてY方向に対称的な一様な幅を有し、X方向にほぼ視野IFの直径（30mm程度）に渡って延びた細長い矩形状またはスリット状に設定される。その領域EIAは、実際には図2中に示したブラインド7Lの開口部によって規定されるレチク

ルRへの照明光の分布形状によって決まるものであるが、投影光学系PLの構成によっては、投影光学系PL内の中間結像面に矩形開口の視野絞りを配置することで同様に規定できる。

【0083】さて図4において、領域EIA内にはX方向に13行(SL1~SL13)、Y方向に7列(1~7)で配列された理想格子点GP(Xi,Yj)が設定されている。理想格子点GP(Xi,Yj)の添字iは1~13のいずれかの整数であり、添字jは1~7のいずれかの整数であり、 $i=7$ 、 $j=4$ の格子点GP(X7,Y4)は円形視野IFの中心に位置する。

【0084】このような理想格子点GP(Xi,Yj)の各々において生じる像歪ベクトルがスタティックなディストーション特性であり、ここでは一例として走査露光の方向であるY方向に列に並んだ行SL1上の7つの格子点GP(X1,Y1)~GP(X1,Y7)についてのスタティックな像歪ベクトルDV(1,p1)~DV(1,p7)を示す。その像歪ベクトルDV(1,p1)~DV(1,p7)は、行SL1上の各理想格子点の位置を表す白丸から伸びる線分として表される。

【0085】静止露光の場合、レチクルR上の1点のパターンはその点での像歪ベクトルのみを伴って投影される。これに対して走査露光の場合は、レチクルR上の1点のパターンが、投影領域EIA内を例えば行SL1に沿ってY方向に等速移動することで投影されるため、その点パターンの像は図4中のスタティックな像歪ベクトルDV(1,p1)~DV(1,p7)の全ての影響を受けてウェハW上に形成される。

【0086】レチクルRは図2に示したようにレーザ干渉計46によって $\pm 15\text{nm}$ 以下の総合精度でXY $\theta$ 方向に位置制御されているため、レチクルR上の1点のパターンの投影像が投影領域EIA内をY方向に直線移動する際の直線性、直進性は投影倍率分だけ縮小され、像歪ベクトルDV(1,p1)~DV(1,p7)よりも十分に小さくすることができる。従って走査露光でウェハW上に形成されるレチクルR上の1点のパターンの投影像は、殆どの場合、投影光学系PLが有する像歪ベクトルDV(1,p1)~DV(1,p7)を平均化したダイナミックな像歪ベクトルVP(SL1)を伴ったものとなる。

【0087】従って投影領域EIA内の走査方向の行SL1で得られるダイナミックな像歪ベクトルVP(SL1)は、スタティックな像歪ベクトルDV(1,p1)~DV(1,p7)の各々のX方向成分の平均値とY方向成分の平均値とを計算することで求められ、そのようなダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)をX方向の各行SL1~SL13毎に求めれば、投影領域EIAを介した走査露光の結果としてウェハW上に転写されるパターン像(或いは理想格子点像)のディストーション特性が決定できる。

【0088】走査露光方式の場合、ウェハW上の1ショット領域内の全域で生じるディストーション特性は、レ

チクルRとウェハWの走査移動が精密に行われるものとすれば、ショット内のどの点もダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)に従ったものとなる。このため走査露光によるディストーション特性は、例えば図5に示すようにX方向(非走査方向)に列に並べた理想格子点の各々で生じるダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)として特定される。

【0089】図5(A)~(D)は、円形視野IF内の投影領域EIAのスタティックなディストーション特性によって様々な傾向となるダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)(但し $i=1\sim 13$ )の一例を示したものである。図5(A)は、ダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)の各々がいずれも走査方向(Y方向)とほぼ平行になり、かつX方向の位置に応じてその絶対値がほぼ一定の割合で変化する1次関数に近似されるような傾向となるディストーション特性の例である。

【0090】図5(B)は、ダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)の各々がいずれも走査方向(Y方向)とほぼ平行になり、かつX方向の位置に応じてその絶対値がほぼ2次関数に近似されるような傾向で変化するディストーション特性の例であり、図5(C)は図5(B)のディストーション特性の傾向に、非走査方向への倍率誤差が重畳したように傾向のディストーション特性の例である。そして図5(D)は、ダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)の各々がランダムな方向性と大きさで変化するディストーション特性の例である。

【0091】図5(A)のようなダイナミックなディストーション特性は、所謂スキューと呼ばれ、投影光学系PL自体の特性を補正板G1の面形状によって補正する以外に、レチクルRとウェハWとを所期の状態から相対的に微小回転させた状態で走査露光することでも補正できる。また図5(B)のようなダイナミックなディストーション特性の場合は、投影光学系PL自体の特性を補正板G1の面形状によって補正する以外に、図2中のレンズ系G2、アス・コマ補正板G3、像歪み補正板G1、或いはレチクルRやウェハWを、投影レンズ系PLの光軸AXと垂直な面に対して相対的に微小傾斜させても補正できる。

【0092】さらに図5(C)のようなダイナミックなディストーション特性の場合は、投影光学系PL自体の特性を補正板G1の面形状によって補正する以外に、図5(B)と同様にレンズ系G2、アス・コマ補正板G3、像歪み補正板G1、或いはレチクルRやウェハWの微小傾斜と、レンズ系G1の光軸AX方向への並進微動や投影光学系PL内の空気間隔室の圧力制御による倍率調整とを併用すれば補正できる。

【0093】また図5(D)のようにダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)の各々がランダムな傾向となる場合は、投影光学系PL自体の特性を補正板G1の面形状によって補正することで対応することになる。尚、図5



(D)のランダムなディストーション特性は、図5(A)～(C)のように関数近似可能なディストーション特性にも重畳して現れるため、関数近似されるディストーション成分を補正したとしても、ランダムなディストーション成分が残存する。そこで補正板G1の面形状加工によるディストーション補正は、ダイナミックなディストーション特性のうちの主にランダム成分に対して行うようにするのが望ましい。そこで、図5(D)のようなダイナミックなランダム・ディストーション特性を補正するために好適な像歪み補正板G1の製作手法について、図6～8を参照して説明する。図6(A)は、未加工の像歪み補正板G1を投影光学系PLによる結像光路内の所定の位置に配置した状態で計測されるランダムなディストーション特性VP(X1)～VP(X13)の一例を示し、図6(B)は図6(A)の特性を像歪み補正板G1によって補正した後のダイナミックなディストーション特性VP'(X1)～VP'(X13)の一例を表す。

【0094】ランダムなディストーション特性の補正としては、図6(A)のように非走査方向(X方向)に並んだ各積算像点でのダイナミックな像歪みベクトルVP(X1)～VP(X13)の各々を極力ゼロに追い込む手法(ゼロ補正)と、それらの像歪みベクトルVP(X1)～VP(X13)の各々を1次関数や2次関数等のある傾向に近似させる手法(関数補正)との2つの考え方がある。

【0095】ここでは像歪み補正板G1の研磨加工が比較的容易になるといった利点を得るため、図6(B)に示すような関数補正の手法を採用するものとするが、像歪みベクトルVP(X1)～VP(X13)がそれ程大きくないときは、ゼロ補正を適用してランダムなディストーション特性(ダイナミック)をゼロに追い込んでしまってもよい。ただし関数補正の手法、ゼロ補正の手法のいずれであっても、加工された像歪み補正板G1は投影光路内に再設置する際にその設置姿勢(特に傾き)を微小量調整する必要がある。

【0096】図6(B)のディストーション特性VP'(X1)～VP'(X13)は、ここでは走査方向(Y方向)に一律のオフセット量を有し、同時に非走査方向(X方向)に一定の倍率誤差を有するように補正されたものであり、それらのオフセット量と倍率誤差とはいずれも1次元関数であって、像歪み補正板G1のX軸回りの微小傾斜による像シフト調整や投影光学系PL内のレンズ素子G2による倍率調整等の別の補正機構により十分に補正可能である。

【0097】さて、像歪み補正板G1の加工に当たっては、まず図6(A)のようなダイナミックなディストーション特性を奏する像歪みベクトルVP(X1)～VP(X13)を計測する作業が必要である。その計測作業の手法には、試し焼き(テスト露光)によるオフライン計測と、図2に示した投影露光装置のウェハテーブルTB上に固定された空間像検出器KESを使ったオンボディ計測と

の2種類がある。

【0098】テスト露光の手法は、テストレチクル上の理想格子点に形成されたテストマークを投影光学系PLを介して、フラットネスが特別に管理されたウェハW上に静止露光し、露光されたウェハWを現像してから投影露光装置とは異なる計測装置に搬送して、転写されたテストマークの座標位置や位置ずれ量を計測することで、投影光学系PLの円形視野IF内の各点、或いは実効投影領域EIA内の各点におけるスタティックな像歪みベクトルを求めるものである。

【0099】これに対して空間像検出器KESを使った手法は、テストレチクル上の各理想格子点の各々に形成されたテストマークの像を露光用照明光で投影しつつ、その像を空間像検出器KESのナイフエッジで走査するようにウェハステージ14をX、Y方向に移動させ、その際に空間像検出器KESから出力される光電信号の波形を解析してスタティックな像歪みベクトルを求めるものである。

【0100】このように、空間像検出器KESを使ったオンボディ計測の手法は、円形視野IF内または実効投影領域EIA内の各理想格子点でのスタティックな像歪みベクトルのデータを図2中の主制御系32の記憶媒体内に逐次記憶するため、それらのデータを用いてソフトウェア上で像歪み補正板G1の加工シミュレーションを行う場合や、加工装置によって実際に研磨加工する場合に好都合である。なお、テスト露光、或いは空間像検出器KESによるディストーション特性計測の詳細については後で詳しく説明する。

【0101】さて、スタティックな像歪みベクトルが求まったら、計算機(コンピュータ、ワークステーション等)によって矩形状の実効投影領域EIA内のY方向について各像歪みベクトルを平均化し、図6(A)のようなダイナミックなディストーション特性を求める。その後、例えば図6(B)のようなダイナミック・ディストーション特性を得るように、図6(A)中の像歪みベクトルVP(X1)～VP(X13)の各々に対する修正ベクトル(方向と大きさ) $\Delta VP(Xn)$ を決定する。すなわち、 $VP'(Xn) = VP(Xn) - \Delta VP(Xn)$ 〔nは1～13の整数〕となるような修正ベクトル $\Delta VP(Xn)$ を決定する。

【0102】次に、修正ベクトル $\Delta VP(Xn)$ に基づいて非走査方向(X方向)の各平均化点毎に、スタティックな像歪みベクトルDV(i, pj)をどのように補正するかを決定する。その決定にあたっては様々な手法が考えられるが、ここでは、例えば図4に示したようなY方向に平均化される7点のスタティックな像歪みベクトルDV(i, p1)～DV(i, p7)のうち最も大きなベクトルから補正を加えていき、その1点での補正量が所定の許容値よりも大きくなるときは、その他の点の像歪みベクトルDV(i, pj)に対しても補正を加えるようにする。



【0103】図7は、矩形状の実効投影領域EIA内のY方向（走査方向）に並んだ7点の各々での像歪みベクトル $DV(i, p1) \sim DV(i, p7)$ と、それらのベクトルを平均化したダイナミックな像歪みベクトル $VP(Xi)$ との一例を示し、補正目標となる像歪みベクトルは $VP'(Xi)$ 、修正ベクトルは $\Delta VP(Xi)$ である。この図7のようなディストーション特性の場合、修正ベクトル $\Delta VP(Xi)$ に基づく補正は、主に点 $(i, p1)$ におけるスタティックな像歪みベクトル $DV(i, p1)$ に対して行われるが、場合によっては点 $(i, p2)$ におけるスタティックな像歪みベクトル $DV(i, p2)$ に対しても行われる。

【0104】具体的には、図7中の像歪みベクトル $DV(i, p7)$ 、或いは像歪みベクトル $DV(i, p6)$ の絶対値を小さくするとともに、その方向性も微小変更するように補正する。そのためには、像歪みベクトル $DV(i, p1)$ 、或いは像歪みベクトル $DV(i, p2)$ が観測された投影視野内の計測点（理想格子点）を通る主光線を、像歪み補正板G1の位置で微小に偏向するような面を決定してやればよい。そこで、その様子を図8、9を参照して簡単に説明する。

【0105】図8は、レチクルR、像歪み補正板G1、及び投影光学系PL（可動レンズ素子G2）の位置関係を部分的に示した拡大図であり、ここでは図4中の矩形の投影領域EIA内に設定された複数の格子点GP(Xi, Yj)のうち、Y方向の1行目の部分をX方向に断面としたものである。従って、図8において走査露光の方向は同図中の紙面と垂直な方向になる。

【0106】さて図8において、レチクルRの下面には理想格子点の各位置毎にテストマーク（計測用のバーニアパターン等）が形成され、ここでは、図7中の像歪みベクトル $DV(i, p1)$ が生じている線SL1上の格子点GP(1, 1)のテストマークから発生して投影光学系PLに入射する像光束LB(1, 1)と、その主光線ML(1, 1)とに対して、像歪み補正板G1の対応する表面部分9-9'の局所的な研磨によって補正を加えるものとする。

【0107】具体的には、図7中の像歪みベクトル $DV(i, p1)$ を小さくするように、表面部分9-9'の局所傾斜面によって主光線ML(1, 1)を微小量だけ所定の方向に傾けた主光線ML'(1, 1)に変換する。この際、格子点GP(1, 1)からの像光束LB(1, 1)も表面部分9-9'の波長オーダーの局所傾斜面によって微小量だけ傾いた像光束LB'(1, 1)に変換される。尚、図8においては、レチクルR上の他の理想格子点GP(2, 1)～GP(13, 1)のうち格子点GP(2, 1)～GP(7, 1)を通る主光線も破線で示してあるが、ここではそれら他の主光線及び像光束に対しては補正を行わないものとする。

【0108】図9は、図8に示した像歪み補正板G1の

局所的な表面部分9-9'の拡大図を示し、説明を容易にするために表面部分9-9'に形成される局所傾斜面の傾斜量を誇張して表わしてある。図8で説明したように、像歪み補正板G1の上面で、レチクルR上の理想格子点GP(1, 1)からの主光線ML(1, 1)と像光束LB(1, 1)とが通る部分S(1, 1)には、補正すべき主光線ML'(1, 1)と像光束LB'(1, 1)の傾きに応じた傾斜量 $\Delta\theta(1, 1)$ でテーパが形成されている。

【0109】先の図7を参照して説明したように、格子点GP(1, 1)で発生するスタティックな像歪みベクトル $DV(1, p1)$ はX方向、Y方向の各々について負方向に縮小補正する必要があるため、図9に示した部分S(1, 1)も実際にはX、Y方向の両方に微小傾斜したものとなる。また、像歪み補正板G1上の研磨部分S(1, 1)の面積或いはXY方向の大きさは、理想的には投影露光に寄与する像光束LB(1, 1)の広がり角 $2\theta_{na}$ を考慮して、その像光束LB(1, 1)がほぼ完全にカバーされるように定められる。

【0110】実際の投影光学系PLでは、ウェハW側の開口数(NAw)が0.6～0.8程度が見込まれており、投影倍率を1/4縮小とすると、レチクルR側の開口数Narは0.15～0.2程度になる。そしてレチクル側の開口数Narと図9中の広がり角 $2\theta_{na}$ とは、 $Nar = \sin(\theta_{na})$ の関係にあるから、研磨加工すべき部分S(1, 1)の面積或いはXY方向の大きさは、レチクルRのパターン面（下面）と像歪み補正板G1の表面とのZ方向の間隔Hrと開口数Narとの関係から一義的に求められる。

【0111】尚、ここでは理想格子点GP(1, 1)のX方向の隣りに位置する格子点GP(2, 1)からの主光線ML(2, 1)を含む像光束による像歪みベクトル $DV(1, p6)$ に対しては補正しないこととしたので、像歪み補正板G1上の格子点GP(2, 1)からの像光束に対応した部分S(2, 1)は、平行平面が保存されるように研磨加工されることは言うまでもない。

【0112】また図9中で、研磨加工した部分S(1, 1)の左隣りの部分S(0, 1)は元の平行平面に戻るように左上りの斜面に研磨されているが、そこを通る像光束の有無や主光線の補正の有無によっては、想像線で表わしたように部分S(1, 1)からの面と緩やかにつなげる場合もある。さらに、図8、図9では像歪み補正板G1の平行平面を投影光学系PLの光軸AXに対して垂直に配置したが、調整機構によって像歪み補正板G1全体を微小傾斜させれば、投影像面側に表れるディストーション特性（スタティックな像歪みベクトル）を全体的にX又はY方向に微小シフトさせることができる。

【0113】以上の図8、9に示した手法を使って、先の図6(A)のようなランダムなディストーション特性を図6(B)に示すような規則的なディストーション特性に補正すべく、非走査方向(X方向)に並んだ13本

の線SL1～SL13（図4参照）の各々に沿って像歪み補正板G1の表面を局所的に傾斜させるように研磨加工する。

【0114】図10は、そのような研磨加工によって作られた像歪み補正板G1の平面図であり、本実施例では像歪み補正板G1の全体形状をレチクルRと相似の正方形に設定した。これは、平行平面の精度、平坦度等を厳しく管理して作られるレチクルRのブランク（母材）が像歪み補正板G1としてそのまま利用できるからである。もちろん、特別に両面研磨された専用のブランクを使ってもよい。

【0115】図10において、矩形の実効投影領域EIAとその内部の13×7の点は、先の図4に示したものと同じであり、それらの13×7点のうち四隅に位置する理想格子点をGP(1,1), (1,7), (13,1), (13,7)とし、Y軸上の両端に位置する理想格子点をGP(7,1), (7,7)としてある。そして実効投影領域EIAの外側にほぼ一定の幅で広がる領域EIA'は、レチクルR上で投影領域EIAの最外辺に位置する点から開口数Narを伴って像歪み補正板G1に達する像光束の広がり部分を表わしている。

【0116】図10において、便宜上、円形又は楕円形で示した斜線部の領域S(1,a), S(2,a), S(3,a), S(4,a), S(5,a), S(6,a), S(6,b), S(7,a), S(8,a), S(9,a), S(10,a), S(11,a), S(12,a), S(13,a)の各々は、図9のような研磨加工によってスタティックな像歪みベクトルを補正する部分である。それらの領域S(i,a), S(i,b)のうちで領域S(1,a)は先の図9に示した研磨領域S(1,1)に相当している。

【0117】図10に示したように、スタティックな像歪みベクトルVD(i,j)の補正のための研磨加工は、基本的には走査方向（Y方向）に並ぶ7個の格子点を結んだ線分（図4に示した走査線SL1～SL13）上のどこか一カ所に対して行われる。しかしながら、一カ所での補正量（研磨による傾斜量）が大きくなりすぎる場合や修正すべき像歪みベクトルの方向性によっては、図10中の領域S(6,a), S(6,b)のように、同一の走査線上の複数部分に研磨領域（テーパ部）を設定することもある。

【0118】また、各研磨領域S(i,a), S(i,b)の面積や研磨によるテーパ量とその傾斜方向は、先に図8, 9で説明したような手法で決定されるが、互いに隣り合った研磨領域間については、そのつなぎ面が滑らかになるように研磨加工される。さらに図10の場合、各研磨領域S(i,a), S(i,b)は比較的に離散して設定されるが、このように離散的にした方が研磨加工上は有利である。

【0119】なぜなら、例えば図10中で互いに隣り合った研磨領域S(2,a), S(3,a)について見てみると、その2つの研磨領域の傾斜方向がほぼ同じ向きになると計

算されたとすると、2つの研磨領域S(2,a), S(3,a)の境界部には比較的急峻な逆テーパが生じるからである。そのような逆テーパは、本来意図していた像歪みベクトルの補正と逆向きの補正成分を与えるため、投影されたレチクルパターン像の像質を局所的に劣化させることにもなる。

【0120】そこで、像歪み補正板G1上でY方向に隣接する研磨領域同士が同一の傾斜方向になるときは、先の図6(A)のようなダイナミックなディストーション特性を図6(B)のような所望状態にするために選択されるスタティックな像歪みベクトルDV(i,j)を見直し、研磨領域を相互にX方向にずらすような修正を試みるのが良い。

【0121】このように、走査露光を前提としたスタティックなディストーション特性の補正は、静止露光を前提としたディストーション特性の補正と比べると、像歪み補正板G1上の研磨領域S(i,a), S(i,b)を分散させることが可能となるので、研磨加工の精度（特に面のつなぎ）を比較的緩くできるといった利点がある。このことは逆に、指定された研磨領域S(i,a), S(i,b)の面形状をその周囲の他の研磨領域の面形状に左右されることなく精密に加工できることを意味する。

【0122】ところで、図10に示した像歪み補正板G1用のブランクは、専用の研磨加工機のXYステージ上にセットされ、回転研磨ヘッド部に対して比較的精密にX, Y方向に移動しては、回転研磨ヘッド部を計算された傾斜角度で所望の研磨領域に所定の力で押圧することにより研磨加工される。この場合、加工後の像歪み補正板G1を投影視野内の各理想格子点の位置に対して正確に合致させる必要があるため、像歪み補正板G1の外周辺のY軸と平行な一辺とX軸と平行な一辺には、研磨加工機のXYステージ上、又は投影露光装置内の補正板G1の保持フレーム上に植設された基準ピン（ローラ）Kpa, Kpb, Kpcの各々と当接する基準端面Pr-a, Pr-b, Pr-cが設定されている。

【0123】ここで、特開平8-203805号公報にも開示されているが、図11を参照して研磨加工機の具体的な一例を説明する。図11において、像歪み補正板G1のブランクは、研磨加工機の本体100上をX, Y方向に移動可能なXYステージ101上に基準ピンKpa, Kpb, Kpcで規定されて載置される。そのXYステージ101は駆動機構102によって移動され、駆動機構102は研磨制御系103からの指令によって駆動される。

【0124】さらに研磨制御系103は、研磨部105の先端に取り付けられた回転研磨ヘッド104の回転と、ヘッド104の先端とブランク（G1）との接触角度を調整する角度調整部106とを制御する。そして研磨制御系103は、データ記録媒体（ディスク、テープ、カード等）或いはオンライン通信からのディストー

ション特性計測データに基づいて解析用のコンピュータ107で解析されたXYステージ101の移動位置と研磨中の移動速度、回転研磨ヘッド104の回転速度と押圧力、ヘッド104の接触角度等の各情報を受信する。

【0125】以上のような研磨加工機は、投影露光装置の組立て製造現場に設置され、装置の最終的な結像性能を検査、調整する段階で使用される。もちろん、図11のような研磨加工機は、投影光学系PLの組立て製造ラインにて使用してもよく、その場合は投影光学系PLを露光装置本体に取り付ける前の単体状態での結像特性を像歪み補正板G1で補正することができる。しかしながら、投影光学系PLの単体状態での結像特性は装置本体に取り付けた状態とは若干異なることがあり、望ましくは投影光学系PLを露光装置に取り付けて露光装置自体の照明系を使って結像特性を検査した結果（ディストーション特性）に基づいて、図11の研磨加工機を使って像歪み補正板G1を加工するのがよい。

【0126】ところで研磨加工機の解析用コンピュータ107は、例えば図10に示したような像歪み補正板G1のブランクス上の各研磨領域の決定、各研磨領域における面形状（主に傾斜量と傾斜方向）の決定等を、計測されたスタティックなディストーション特性やダイナミックなディストーション特性に基づいて実行する。その際、解析用コンピュータ107内の記憶部には、計測された各種のディストーション特性データに基づいて最終的な研磨加工の状態をシミュレーションするプログラムが保持され、そのシミュレーション結果がオペレータのためにディスプレイ上に表示される。これによってオペレータは、シミュレートされた研磨加工の状態や条件をディスプレイ上で確認することができ、様々なパラメータを細かく変更、編集して最適な加工状態を設定することができる。

【0127】以上のようにして製作された像歪み補正板G1は、図12に示したような支持フレーム120上に固定される。その支持フレーム120には、実効投影領域EIAを通る結像光束が遮蔽されないような矩形開口部120aが形成され、その開口部120aの周辺には像歪み補正板G1の下面を支える複数の凸部121a～121kが形成されている。

【0128】凸部121a～121dは像歪み補正板G1のほぼ四隅を支持し、凸部121e～121hは開口部120aの中央近傍で補正板G1を支持し、凸部121i, jはそれぞれ補正板G1の右端部辺の中央と上端部辺の中央とを支持し、そして凸部121kは補正板G1の下端部辺の中央を支持する。これらの凸部121a～121kによって像歪み補正板G1はたわみが最も少なくなるように支持フレーム120上に載置される。

【0129】さらに支持フレーム120上には、像歪み補正板G1の下側の基準辺に当接する2つの基準ローラKPa, KPbと、像歪み補正板G1の左側の基準辺に

当接する1つの基準ローラKPcとが転動可能に植設されている。そして像歪み補正板G1は、支持フレーム120上の凸部121i, jの上方にそれぞれX, Y方向にスライド可能に設けられた押圧子122a, 122bによって、基準ローラKPa, KPb, KPcの方向に所定の付勢力で押圧される。尚、図12中には示していないが、像歪み補正板G1を支持フレーム120の各凸部に所定の押圧力で付勢するための弾性部材（板バネ、スプリング等）が像歪み補正板G1の周辺の上方向空間に設けられている。

【0130】そして図12のような支持フレーム120は、図13に示すような支持フレーム保持部材130上に取り付けられる。図13は投影光学系PLの上端部分の構造を示す部分断面であり、保持部材130は投影光学系PLの鏡筒上端部に対して上下方向（Z方向）とX, Y方向とに変動しないように複数のスペーサ135a, 135bを介して拘束されている。

【0131】また保持部材130には、投影光学系PLの視野を遮らないような開口部が形成され、その上面には支持フレーム120をX, Y,  $\theta$ 方向に位置決めする複数の基準部材131a, 131bが設けられている。さらに保持部材130の下側の3ヵ所には、支持フレーム120をXY平面に対して微小傾斜させるための直動型のピストンやピエゾ素子等による上下駆動子133a, 133b, 133c（133cの図示は省略）と、各駆動子133a, 133b（133c）を駆動させるモータ等の駆動ユニット132a, 132b, 132c（132cの図示は省略）とが設けられている。

【0132】そして各駆動ユニット132a, 132b（132c）の各々は、傾斜制御系137からの制御指令に応答して各駆動子133a, 133b（133c）を最適な量で上下動させ、支持フレーム120、すなわち像歪み補正板G1を所定の方向に所定の量だけ傾斜させる。その傾斜方向と傾斜量は、図2中の主制御系32内に予め記憶されたプリセット情報、或いは像歪み補正板G1を装着した後に再計測されるディストーション特性の計測結果に基づいて主制御系32によって決定される。また3ヵ所の駆動子133a, 133b（133c）は、XY平面内でみたとき、投影光学系PLの光軸AXを中心とする一定半径の円周上に約120°の角度で配置され、各駆動子133a, 133b（133c）を同時に上下動させることで、像歪み補正板G1とレチクルRとの間隔（図9中に示したHr）も調整することができる。

【0133】尚、図13に示した投影光学系PL内のレンズ素子G2は、図2中でも示したように、投影光学系PLの光軸AXに沿って上下動可能または傾斜可能に設けられ、ウェハW上に投影される投影像の倍率誤差や実効投影領域EIA内の全体で生じる対称的な歪曲収差（糸巻き型、樽型、台形等のディストーション）を補正

することができる。

【0134】以上のようにして、研磨加工された像歪み補正板G1が投影光路内の所期の位置、すなわち研磨加工前のディストーション特性計測の時点で設置されていた位置に戻されると、再びテストレチクルを使ったディストーション特性の計測作業を行い、ダイナミックなディストーション特性が例えば先の図6(B)のようになっているか否かを確認する。

【0135】ただし、先の図6(B)の例では関数近似可能なディストーション成分が重畳しているため、最終的には像歪み補正板G1の傾斜、レンズ素子G2の上下動と傾斜微動、或いは圧力制御による倍率微調によって関数近似可能なディストーション成分をほぼ零に追い込む必要がある。そしてその追い込む調整の後に再計測されるダイナミックなディストーション特性に、ランダム成分なディストーション成分がどれぐらい含まれているかを確認し、そのランダム成分が規格値に入っていれば、像歪み補正板G1の一連の製作過程が終了する。

【0136】一方、ダイナミックなディストーション特性中のランダム成分が規格値に入らないときには、再計測したディストーション誤差のデータに基づいて図11のコンピュータ107を使って再シミュレーションを行い、必要に応じて像歪み補正板G1が再研磨される。以上、本実施例では、走査露光時の実効投影領域EIAにおけるスタティックなディストーション特性（歪曲収差特性）ではなく、投影領域EIAの走査方向の幅に渡る積算（平均化）によって生じるダイナミックなディストーション特性に着目し、そのダイナミックなディストーション特性に含まれる主にランダムな成分を補正するように像歪み補正板G1を研磨した。このため、投影領域EIA内の例えば13×7個の理想格子点の全てで像歪みベクトルを最小にするように研磨加工する場合と比べ、その加工が格段に楽になり、研磨領域の面つなぎも高精度にできるといった利点がある。

【0137】さらに本実施例では、ダイナミックなディストーション特性をゼロに追い込んだ状態、或いは所定の関数に近似されるように追い込んだ状態にするのに必要な像歪み補正板G1上の研磨領域を離散的に設定することが可能となるので、互いに隣接した研磨領域での不自然な面つなぎも減少し、投影光学系PLによる投影像の局所的な像質の劣化も最小にすることが可能となる。

【0138】尚、不自然な面つなぎとは、レチクルR上の物点のXY方向の位置によっては、その物点からの結像光束が互いに隣接した複数の研磨領域を同時に通ることによって生じる像歪みベクトルが不自然な補正にならないように、各研磨領域の研磨面を計算上で1次的に定められた状態から僅かに修正して隣接した複数の研磨領域の全体での面を滑らかにつなぐ操作を意味する。

【0139】以上の実施例では、専ら像歪み補正板G1の製作手法とその調整手法について説明したが、像歪み

補正板G1の製作に当たっては先に述べたようにテストレチクルを用いてスタティックなディストーション誤差を複数の理想格子点の各々について精密に計測する必要がある。そのようなディストーション特性の計測は試し焼きによる方法以外に、図2中に示した空間像検出器KESによっても実施可能である。

【0140】そこで、空間像検出器KESによるディストーション計測について図14を参照して簡単に説明する。図14は、図2中の露光装置のウェハテーブルTB上に取り付けられた空間像検出器KESの構成とそれに関連した信号処理系の構成とを示し、本実施例ではナイフエッジ計測法を利用して投影光学系PLから投影されるテストパターン像の座標位置を求めるものとする。

【0141】図14において、空間像検出器KESは、テーブルTB上のウェハWの表面とほぼ同じ高さ（例えば±1mm程度の範囲）になるように設けられた遮光板140、その遮光板140の所定位置に形成された数十μm～数百μm程度の矩形開口（ナイフエッジ開口）141、開口141を透過した投影光学系PLからの結像光束を大きなNA（開口数）で入射する石英の光パイプ142、そして光パイプ142によってほぼ損失なく伝送される結像光束の光量を光電検出する半導体受光素子（シリコンフォトダイオード、PINフォトダイオード等）143で構成される。

【0142】以上の空間像検出器KESの構成において、遮光板140は紫外域の光に対して高い透過率を有する石英や蛍石の板材の表面にクロム層を蒸着し、そのクロム層の一部に開口141を形成して構成され、光パイプ142は石英の光学繊維の多数本を密に束ねて全体として数ミリ程度の太さに形成したもの、または石英を断面が正方形の細長い角柱に切り出してその内面を全反射面にしたもので構成される。

【0143】このような光パイプ142を用いて遮光板140と受光素子143とを空間的に離しておくと、遮光板140上に長時間に渡って結像光束が照射されることに生じる遮光板140の温度上昇に伴う受光素子143への影響が低減され、受光素子143をほぼ一定温度に保つことが可能となり、合わせて開口141を透過してくる結像光束をロスなく受光することが可能となる。

【0144】一方、空間像検出器KESによる投影像の検出には、図2中に示したレーザ干渉計62が使われる。レーザ干渉計62には、図14に示すように周波数が安定化されたレーザ光源62A、そのレーザビームをテーブルTB上に固定された移動鏡60と投影光学系PLの鏡筒下部に固定された基準鏡62Eとに向けて分割するビームスプリッタ62B、62C、及び移動鏡60と基準鏡62Eの各々で反射されてビームスプリッタ62Bで互いに干渉したビームを受光するレーシーバ62D等で構成される。

【0145】レーザ62Dは、干渉したビームのフリンジの変化に応じた光電信号に基づいてテーブルTBの移動量を10nmの分解能でインクリメンタルに計数する高速デジタルカウンタを備え、そのカウンタによるデジタル計数値をテーブルTB（ウェハW）のX（又はY）方向の座標位置として図2中に示したウェハステージ制御系58に送る。さて、図1、2に示したように露光用照明光をエキシマレーザ光源1から得る場合、空間像検出器KESの受光素子143からの光電信号は、エキシマレーザ光源1のパルス発光にตอบสนองしたパルス波形となる。すなわち、投影光学系PLの物体面に設置されたテストレチクル上のある物点からの像光路を図14に示すようにMLEとすると、その像光路MLEが空間像検出器KESの矩形開口141に合致するようにテーブルTB（即ちウェハステージ14）をX、Y方向に位置決めした状態で、図2中のエキシマレーザ光源1をパルス発光させると、受光素子143からの光電信号も時間幅が10～20ns程度のパルス波形となる。

【0146】そこで受光素子143からの光電信号を、図14のような増幅作用を有するサンプルホールド（S/Hとする）回路150Aに入力するように構成し、そのS/H回路150Aはレーザ干渉計62内のレーザ62Eで作られる10nm毎の計数用パルス信号にตอบสนองしてサンプル動作とホールド動作とを切り替えるように構成する。

【0147】そして図2に示したエキシマレーザ光源1の制御系2は、レーザ干渉計62からステージ制御系58を経由して図2中の同期制御系66、主制御系32に送られる座標位置情報に応じてパルス発光のトリガを行う。即ち本実施例では、エキシマレーザ光源1のパルス発光がテーブルTBの座標位置に応じて行われ、そのパルス発光に同期してS/H回路150Aが受光素子143からのパルス信号波形のピーク値をホールドするように構成される。

【0148】S/H回路150Aでホールドされたピーク値は、アナログーデジタル（A-Dとする）変換器152Aによってデジタル値に変換され、そのデジタル値は波形メモリ回路（RAM）153Aに記憶される。RAM153Aの記憶動作時の番地は、レーザ干渉計62から送られてくる10nm毎の計数用パルス信号を計数するアップダウンカウンタ151によって作られ、テーブルTBの移動位置とRAM153Aの記憶動作時の番地とが一義的に対応付けられる。

【0149】ところで、エキシマレーザ光源1からのパルス光のピーク強度は各パルス毎に数%程度の変動がある。そこで本実施例の処理回路では、その変動による像計測精度の劣化を防止するために、図2中の照明光学系（7A～7Q）内に強度検出用の光電検出器155を設ける。そして光電検出器155からの光電信号（パルス波形）は、先のS/H回路150A、A-D変換器15

2A、RAM153Aの各々と同等のS/H回路150B、A-D変換器152B、RAM153B（記憶動作時のアドレス生成はRAM153Aと共通）によって取り込まれる。

【0150】これによってテーブルTBの移動位置とRAM153Bの記憶動作時の番地とが一義的に対応付けられた状態で、エキシマレーザ光源1からの各パルス光のピーク強度がRAM153Bに記憶される。尚、光電検出器155は、図2に示した照明光学系内のミラー7Jを部分透過ミラーとし、その背面側に透過してきた1～数%程度のパルス光を集光レンズを介して受光するように配置される。また光電検出器155をそのような位置に配置した場合は、ウェハW上の各ショット領域を露光する際の露光量を制御するための光量モニターとしても動作する。

【0151】以上のようにして各RAM153A、153Bに記憶されたデジタル波形は波形解析用のコンピュータ（CPU）154に読み込まれ、RAM153Aに記憶された像強度に応じた計測波形がRAM153Bに記憶された照明パルス光の強度ゆらぎ波形で規格化（除算）される。規格化された計測波形はCPU154内のメモリに一時的に保持されるとともに、計測すべき像強度の中心位置が各種の波形処理プログラムによって求められる。

【0152】本実施例では、空間像検出器KESの開口141のエッジを使ってテストレチクル上のテストパターン像を検出するので、CPU154によって解析される像の中心位置は、テストパターン像の中心と開口141のエッジとがXY面内で合致する場合にレーザ干渉計62によって計測されるテーブルTB（ウェハステージ14）の座標位置として求まる。

【0153】こうして解析されたテストパターン像の中心位置の情報は図2に示した主制御系32に送られ、主制御系32はテストレチクル上の複数点（例えば理想格子点）に形成されたテストパターンの各投影像の位置を順次計測するための動作を、図2中のエキシマレーザ光源1の制御系2、ウェハステージ制御系58、及び図14中のCPU154に指示する。

【0154】ここで、本実施例に好適なテストレチクルTRについて図15を参照して簡単に説明する。図15はテストレチクルTRの全体のパターン配置を示す平面図であり、テストレチクルTRの中心をXY座標系の原点と仮定してある。そして図15においても走査露光の方向はY方向である。また図15のテストレチクルTRの左側には破線で示した実効投影領域EIAも示され、投影領域EIAの非走査方向（X方向）の両端部は、テストレチクルTRのパターン領域を矩形に囲む遮光帯LSBのうちY方向に延びる2辺の各々と合致するように設定される。

【0155】そしてテストレチクルTRの遮光帯LSB

の外側には、十字状のレチクルアライメントマークRMa, RMbが形成され、テストレチクルTRが露光装置のレチクルステージ8(図2参照)上に載置された状態でレチクルアライメント用の顕微鏡によってマークRMa, RMbを検出することで、テストレチクルTRは装置内の基準点に対して位置合わせされる。

【0156】さてテストレチクルTRの遮光帯LSBの内側にはXY方向に一定ピッチでマトリックス状に配列されたテストパターン領域TM(i, j)が形成されている。このテストパターン領域TM(i, j)は、図15の下段に拡大して示すように全体的に1~2mm角程度の大きさの矩形の遮光層(斜線部)で形成される。そしてその遮光層の中には、空間像検出器KESによる検出のためにX方向の周期を有するライン&スペース(L&S)のパターンMX(i, j)と、Y方向の周期を有するL&SのパターンMY(i, j)とが形成される。さらに透明な窓MZ内には解像力の検査や重ね合わせ精度の検査に使われるランバスマークMLPやバーニアマークMvnも形成されている。

【0157】また、テストパターン領域TM(i, j)の矩形遮光層の中で、L&SパターンMX(i, j)のX方向の両側には、所定の大きさの遮光部TSa, TSbが確保されるようにデザインされる。この遮光部TSa, TSbの面積は、投影像面側において空間像検出器KESの矩形開口141の面積よりも大きくなるように設定されている。同様に、L&SパターンMY(i, j)のY方向の両側にも、所定の大きさの遮光部TSa, TSbが確保される。

【0158】尚、図15に示したL&SパターンMX(i, j)、MY(i, j)は遮光層中に10本の透明ラインを有し、各透明ラインの間の遮光ラインの幅と透明ラインの幅とを同一としたが、その透明ラインの本数、透明ラインと遮光ラインの幅の比(デューティ)等は任意に設定し得る。ただし各透明ラインの周期方向の幅は、投影光学系PLによって十分に解像可能であって極端に太くならないように設定され、一例としては投影光学系PLによる解像可能な線幅値 $\Delta r$ から $4\Delta r$ 程度の範囲に設定される。

【0159】さて、図15のようなテストレチクルTRが露光装置のレチクルステージ8上に載置されてアライメントされると、ウェハステージ14は空間像検出器KESの矩形開口141が計測すべき1つのテストパターン領域TM(i, j)に対して図16のように配置するように位置決めされる。図16は、1つのテストパターンTM(i, j)内のL&SパターンMY(i, j)の投影像MYS(i, j)を矩形開口141がY方向に走査する直前の位置関係を示したもので、図16の状態において矩形開口141は図15中に示した遮光部TSb(又はTSa)によって完全に遮光されている。そしてこの図16の位置から矩形開口141はほぼ一定速度で

投影像MYS(i, j)の1本目のスリット像(透明ラインの像)Ms1に向けて右方向に移動していく。

【0160】このとき、受光素子143からの光電信号のレベルは、図17に示すように矩形開口141の右側のエッジ141Aが1本目のスリット像Ms1を横切った瞬間(位置ya)から立ち上がり、矩形開口141の左側のエッジ141Bが10本目のスリット像Ms10を横切った瞬間(位置yd)以降に零に戻るように変化する。

【0161】図17は、横軸にウェハステージ14(矩形開口141)のY(又はX)方向の座標位置を取り、縦軸に受光素子143の光電信号の電圧レベルを取って表わした信号波形EVを示すものであり、信号波形EVは投影像MYS(i, j)の1本目のスリット像Ms1から10本目のスリット像Ms10までが矩形開口141内に順次入るに従って階段状に増加し、位置ybで最大値EVpに達する。その後、ウェハステージ14が位置ycを過ぎると、信号波形EVはスリット像がMs1からMs10の順で矩形開口141から外れるのに応じて階段状に減少する。

【0162】このような階段状の波形EVを構成するステップ毎の電圧変化分 $\Delta Ve$ は、投影像MYS(i, j)中の1本のスリット像の光量に対応したものである。そして信号波形EVを使った位置計測において重要な部分は、各ステップ間の立ち上がり部分と立ち下がり部分である。この階段状の信号波形EVは図14中のRAM153Aに一時的に記憶され、その後CPU154によって照明パルス光毎の強度ゆらぎに対する補正(除算)がRAM153Aの各アドレス内のデータ(電圧値)毎に行なわれる。

【0163】以上のようにして規格化された信号波形EVは、さらにCPU154によって平滑化(スムージング)され、その平滑化された信号波形は各ステップ間の立ち上がり位置と立ち下がり位置とを強調するために微分される。その微分波形は図18(B)に示すように、位置ya~ybまでの期間は、図18(A)に再度示した信号波形EVの各ステップ間が立ち上がり波形であるために正の微分パルス状になり、位置yc~ydまでの期間は信号波形EVの各ステップ間が立ち下がり波形であるために負の微分パルス状になる。尚、図18(A)は、図18(B)中の微分パルス波形上の位置と原信号波形EV上の各ステップ位置との対応関係をわかり易くするために図17を再度図示したものである。

【0164】そこで図14に示したCPU154は、図18(B)のような微分波形をY(或いはX)座標位置と対応付けて内部のメモリに記憶した後、微分波形中の20個のパルス波形毎にその重心位置Yg1, Yg2, ..., Yg20を算出し、各位置Yg1~Yg20を加算平均した位置YG(i, j)を決定する。この位置YG(i, j)は、図16中の投影像MYS(i, j)の

Y方向の中心点と、矩形開口141の2つのエッジ141A、141BをY方向に結ぶ線分の中点とが正確に合致するときにレーザ干渉計62で計測されるウェハステージ14のY座標値である。

【0165】以上のようにして、テストレチクルTR上の複数ヶ所に形成されたテストパターン領域TM(i, j)内の各L&SパターンMY(i, j)の投影像MYS(i, j)のY座標位置が順次計測されるが、テストパターン領域TM(i, j)内の各L&SパターンMX(i, j)の投影像MXS(i, j)のX座標位置についても全く同様の手順によって計測される。

【0166】その場合、空間像検出器KESの矩形開口141は投影像MXS(i, j)に対してX方向に走査され、図16中の矩形開口141のX方向の幅を規定する1対のエッジ141C、141Dが投影像MXS(i, j)に対するナイフエッジとして作用する。従って受光素子143からの光電信号の波形EVやその微分波形は先の図18(A)、(B)と全く同様になる。ただし、投影像MXS(i, j)のX方向の中心位置XG(i, j)を求める必要があるので、図14中に示されたレーザ干渉計62のレーザ62Dからの計数用パルス信号は、ウェハステージ14のX方向の移動位置を計測するレーザ干渉計(図1中の16X)内のレーザ62Dから得られる計数用パルス信号に切り替えられる。

【0167】以上のようにして、テストレチクルTR上の各テストパターン領域TM(i, j)内のL&SパターンMX(i, j)、MY(i, j)で規定される理想格子点の投影座標位置〔XG(i, j)、YG(i, j)〕が計測でき、その計測結果とテストレチクルTR上の各理想格子点の座標位置とのXY方向の差分を求めることによって、先の図3又は図4で説明したような各理想格子点におけるスタティックな像歪みベクトルDV(Xi, Yj)が求められる。

【0168】ところで以上のディストーション計測法では、L&SパターンMX(i, j)、MY(i, j)の各投影座標位置〔XG(i, j)、YG(i, j)〕を計測してからスタティックな像歪みベクトルDV(Xi, Yj)を求めていたが、そのような各投影座標位置〔XG(i, j)、YG(i, j)〕を実測しなくても像歪みベクトルDV(Xi, Yj)を求めることが可能である。

【0169】すなわち、テストレチクルTR上の各L&SパターンMX(i, j)、MY(i, j)で規定される理想格子点の座標位置は設計上で予め判っているの、その理想格子点を理想的な投影光学系PLを通して投影したときの投影像位置(理想投影位置)も設計上で予め判っている。そこで、例えば図18(B)のような微分波形がメモリ上に生成された段階で、そのメモリの番地上で理想投影位置に対応した基準番地をソフトウェアで設定し、図18(B)中の20個の微分パルス波形の各重心位置を加算平均した位置をメモリ上の特定番地

として決定し、その特定番地と先の基準番地との差値にレーザ干渉計62(又は16X)からの計測用パルス信号の分解能(例えば10nm)の値を乗算すれば、直接的に像歪みベクトルDV(Xi, Yj)を算出することができる。

【0170】以上の空間像検出器KESを用いた投影像の検出に当たっては、さらに考慮すべき事項がある。それは、図2中に示した第1フライアイレンズ7Cと第2フライアイレンズ7Gを使うことによって、レチクルR上に照射されるパルス照明光の強度分布に不要な干渉縞の強度分布が数%程度のコントラストで重畳することである。

【0171】そのため、ウェハWの走査露光時には図2中の第1フライアイレンズ7Cと第2フライアイレンズ7Gとの間に設けられた振動ミラー7Dを振動させ、第2フライアイレンズ7Gに入射するパルス照明光を走査露光時のレチクルRの移動方向(Y方向)と交差した非走査方向に微小量だけ偏向させつつ複数のパルス照明光を照射し、干渉縞を複数のパルス照明光毎にレチクルR(及びウェハW)上で非走査方向に微小移動させることで、ウェハW上に投影露光されるパターン像に重畳した干渉縞のコントラストをレジスト層の積算効果によって十分に減少させるようにしてある。

【0172】ところが空間像検出器KESによる投影像の検出の際は、ウェハWの走査露光の場合と異なり、レジスト層による積算効果が利用できない。そこで、同様の積算効果を電氣的な処理、例えば図14中の信号処理回路を一部変更した回路構成によるハードウェア処理、或いはCPU154によるソフトウェア処理で得るようにすることが望ましい。

【0173】具体的には、図16のようにL&Sパターンの投影像MYS(i, j)又はMXS(i, j)を矩形開口141で走査する際の移動速度を十分に小さくし、振動ミラー7Dを高速に振動させた状態でレーザ干渉計62(又は図1中の16X)からの計数用パルス信号の1パルスにตอบสนองして複数個のトリガ信号をエキシマレーザ光源1の制御系2に与える方式が採用できる。

【0174】そこで、図19、20を参照してハードウェア処理によって積算効果を得る方式について簡単に説明する。まず、図19に示すようにウェハステージ14の位置計測用のレーザ干渉計62(又は16X)からの計数用パルス信号CTPの1パルスに対して、例えば3つのトリガパルスTP1、TP2、TP3を生成するように構成し、そのトリガパルスTP1、TP2、TP3の各々にตอบสนองしてエキシマレーザ光源1を発振させるようにする。

【0175】そして図14の信号処理回路の一部を図20のように変更する。図20において、空間像検出器KESの受光素子143からの光電信号のピーク値をデジタル値に変換するA-D変換器152Aの後には、A-



D変換器152Aの出力データとレジスタ157Bに一時的に保持されたデータとを加算するアキュムレータ157Aが接続され、その加算結果が図14と同様のRAM153Aに記憶されるように構成する。

【0176】さらにシーケンスを同期させるために、干渉計からの計数用パルス信号CTPにตอบสนองしてトリガパルスTP1、TP2、TP3を出力する同期回路157Cを設け、そのトリガパルスTP1、TP2、TP3の各々でS/H回路150Aのサンプル動作とホールド動作とを切り替えるように構成する。そしてトリガパルスTP1、TP2、TP3はアキュムレータ157Aにも送られ、各トリガパルスTP1、TP2、TP3毎(3個のパルス発生毎)にA-D変換器152Aから出力されるデータがアキュムレータ157Aによって順次加算される。

【0177】このような構成において、レジスタ157Bは干渉計の計数用パルス信号CTPの立ち上がりでゼロリセットされるように動作し、同期回路157Cはそのゼロリセット後に1番目のトリガパルスTP1を出力する。これにตอบสนองしてS/H回路150AとA-D変換器152Aが作動し、1番目のパルス発生に応じて受光素子143から出力された信号のピーク値EV1がアキュムレータ157Aの一方の入力端に印加される。

【0178】このときレジスタ157Bのデータはゼロであるので、アキュムレータ157Aの出力にはピーク値EV1が現れる。その出力はただちにレジスタ157Bに送られて保持される。そして一定時間の後、同期回路157Cは2番目のトリガパルスTP1を出力し、同様にして2番目のパルス発生に応じて受光素子143から出力された信号のピーク値EV2がアキュムレータ157Aの一方の入力端に印加される。

【0179】これによってアキュムレータ157Aの出力には、A-D変換器152Aからのピーク値EV2とレジスタ157Bからのピーク値EV1との加算値が現れ、その加算値が再びレジスタ157Bに送られる。そして3番目のトリガパルスTP3に対しても同様に動作し、結局、アキュムレータ157Aの出力には3つのパルス発生各々によって得られたピーク値EV1、EV2、EV3の加算値が現れ、その加算値はRAM153Aの指定された番地に記憶される。

【0180】以上の本実施例では、干渉計の計数用パルス信号の1パルスに対して3個のトリガパルスTP1、TP2、TP3を発生させるが、そのトリガパルスが発生する間、振動ミラー7Dの角度を微小に変化させるため、空間像検出器KESの遮光板140上に投影される像MXS(i, j)又はMYS(i, j)に各パルス発生毎に重畳した干渉縞のコントラスト成分が平均化され、図17のような信号波形EVが干渉縞によるコントラストによって歪むことが低減される。

【0181】以上の方式以外にも、空間像検出器KES

を使った像計測時の干渉縞による精度劣化を低減する方式があり、その1つは、投影された1つのL&Sパターン像MXS(i, j)又はMYS(i, j)に対して空間像検出器KESの矩形開口141を複数回走査する方式である。この場合、信号処理回路は先の図14のものとし、矩形開口141の複数回の走査の各々で図18(A)、(B)のような波形処理を行い、投影像の中心位置(又は像歪みベクトル)を各走査毎に求めた後に、その中心位置(又は像歪みベクトル)をCPU154のソフトウェア上で平均化する。

【0182】このように矩形開口141を複数回走査する間、振動ミラー7Dの角度は微小に変化されるため、矩形開口141の各走査毎に干渉縞の位置が微小にシフトすることになり、干渉縞コントラストの影響によりばらついて計測され得る投影像の中心位置(又は像歪みベクトル)を平均化して求めることができ、それだけ計測精度を高めることが可能となる。

【0183】また以上の構成においては、空間像検出器KESを用いて投影像を検出する際に、ウェハステージ14をX又はY方向に走査したが、空間像検出器KESの方をある計測位置に静止させておき、レチクルRの方をX又はY方向に微動させるようにしても同様のディストーション計測が可能である。さらに、空間像検出器KES(ウェハステージ14)とレチクルRとを、例えばY方向(走査露光方向)に所期の速度比と異なる速度比で同期移動させ、その間に受光素子143から得られる信号波形を解析するようにしてもよい。

【0184】この場合、例えば図16中の矩形開口141と投影像MYS(i, j)とは一定の速度差を伴って共にY方向に沿った一方向に移動することになり、その速度差によって投影像MYS(i, j)が矩形開口141によって相対走査され、受光素子143からの信号も図17のような階段状の波形になる。このようにレチクルRと空間像検出器KESとを共に同期移動させる場合は、厳密な意味では理想格子点でのスタティックなディストーション特性を計測したことにならない。しかしながら、そのときの光電信号の波形を解析すれば、L&Sパターンの投影像MYS(i, j)が投影視野IF内で走査移動される局所範囲内での平均化された像歪みベクトル、即ちダイナミックなディストーション特性を知ることが可能である。さて、以上のような自動計測の結果に基づいて図11のような研磨加工機で像歪み補正板G1を研磨加工する際、先の図9のように像歪み補正板G1の片面だけではなく、図21に示したように両面を研磨するようにしてもよい。図21は、図9と同様にレチクルR又はテストレチクルTR上の1つの格子点GP(1, 1)からの結像光束LB'(1, 1)が通る像歪み補正板G1の一部分の断面を誇張して示したものである。

【0185】この図21の場合、像歪み補正板G1の下



面（投影光学系PL側）には上面の研磨領域 $S(1, 1)$ 、 $S(0, 1)$ に対応して研磨領域 $S'(1, 1)$ 、 $S'(0, 1)$ が設定され、下面の研磨領域 $S'(1, 1)$ 、 $S'(0, 1)$ もそれぞれ結像光束（主光線）に対して最適な微小偏向角を与えるように波長オーダーの傾斜面に研磨されている。

【0186】例えば、図21中に示した結像光束 $LB'(1, 1)$ は研磨領域 $S(1, 1)$ と研磨領域 $S'(1, 1)$ の2つの微小斜面によって偏向されるため、各研磨領域 $S(1, 1)$ 、 $S'(1, 1)$ の斜面方向と傾斜量とをほぼ同じにしておくと、その局所的な領域だけを傾いた平行平板に整形することができ、偏向補正された主光線 $MB'(1, 1)$ を光軸AXとほぼ平行な状態に戻すことが可能となる。このため、物点GP(1, 1)からの主光線 $MB'(1, 1)$ は、投影光学系PLの投影像面に対して垂直に近くなり、テレセントリックな状態が維持されるといった利点がある。

【0187】また、像歪み補正板G1の両面を研磨加工することにすれば、先に図10を参照して説明したように、研磨領域 $S(i, a)$ 、 $S(i, b)$ のうち互いにオーバーラップせざるを得ない隣接した複数の研磨領域が存在した場合でも、それらの研磨領域を像歪み補正板G1の上面と下面とに振り分けることができ、同一面側での研磨面のつながりが滑らかになって、よりきめ細かなディストーション補正が可能になるといった利点もある。次に、本実施例においてディストーション特性を計測する際に考慮しなければならない投影露光装置の照明光学系の光学条件に関して説明する。先の図2で説明したように、この種の投影露光装置の照明光学系は、一般に第2フライアイレンズ7Gの射出側に形成される面光源像（実際は5千～1万個の輝点の集合）を投影光学系PLの入射瞳または射出瞳に結像するケーラー照明系として構成される。これによって、エキシマレーザ光の可干渉性により生じる干渉縞（又はスペックル）のコントラストが無いものと仮定したとき、第1の被照射面としてのブラインド7Lの位置、第2の被照射面としてのレチクルRのパターン面位置、及び第3の被照射面としての投影光学系PLの像面（ウェハ面）位置の各々で、±1%程度の均一な照度分布を得ている。

【0188】しかしながら近年の半導体デバイスの高密度化、微細化に伴って、被照射面における照度分布の均一性の問題だけではなく、被照射面（特にウェハ面）上に照射される照明光のテレセントリックな条件からのずれ、所謂テレセン誤差も問題となってきている。ただしこのテレセン誤差は投影光学系PL単体が有するテレセン誤差も含んだものとして捉えられる。

【0189】特に近年は、図2中に示したように第2フライアイレンズ7Gの射出側に輪帯開口、4開口、円形小開口、円形大開口等の各種の照明σ絞板（以下、空間フィルターとする）7Hを交換可能に設け、照明光源

面の形状をレチクルR上のパターンに応じて変更することが行われている。この場合、空間フィルター7Hを光路内に挿入しない状態、或いは円形大開口の空間フィルターを光路内に入れた状態で、ウェハW側に到達する照明光のテレセン誤差を被照射面内の各点毎に計測し、各点毎のテレセン誤差が補正されるように、図2中のコンデンサーレンズ系の近傍に設けられたテレセン補正板7Nを、像歪み補正板G1の製作手法と同様の手法で研磨加工して光路内に挿入すればよい。或いは図2中のコンデンサーレンズ系7K、7Q等に含まれる特定のレンズ素子に対して、計測されたテレセン誤差が補正されるような非球面加工（図11の研磨加工機により球面を局所的に研磨した場合も含む）を施してもよい。

【0190】そこで、投影光学系PLの像面側における照明光のテレセン誤差を正確に計測することが必要となるが、その計測には先に図14～18を参照して説明した空間像検出器KESとテストレチクルTRがそのまま利用できる。ただし、テレセン誤差を求めるためには、ウェハテーブルTBのZ方向の位置を斜入射光式の焦点検出系の検出結果に基づいて一定量（例えば $0.5\mu\text{m}$ ）だけ変えてはテストレチクルTR上のL&Sパターンの投影像を矩形開口141で走査して、その投影像のXY座標位置を計測することを繰り返し、1つのL&Sパターン像のZ方向位置に応じたXY座標位置の変化、即ちL&Sパターン像の主光線のZ軸に対する傾きの方向と量とを計測することになる。

【0191】そして、このようなテレセン誤差（結像主光線の傾き誤差）をテストレチクルTR上の各理想格子点に配置されたL&Sパターンの各投影像毎に行うことで、投影像面内、或いは実効投影領域EIA内でのテレセン誤差の分布が、例えば図22のように分かる。図22は、投影領域EIA内で生じる局所的なテレセン誤差の分布を誇張して表わした一例であり、同図中の黒点は理想格子点又はそれに準じた点を表わし、各黒点から延びる線分がテレセン誤差ベクトル（向きと大きさ） $\Delta\theta t(i, j)$ を表わしている。

【0192】このテレセン誤差ベクトル $\Delta\theta t(i, j)$ は、一例として投影像点の主光線がZ方向の距離 $1000\mu\text{m}$ 当たりどれぐらいX、Y方向にシフトしているかを表わしたものであり、この図22に示したベクトルマップの全体傾向は、ディストーション特性と同様にして関数近似可能な成分とランダムな成分とが混在したものとなっている。

【0193】従って、図22のようなテレセン誤差ベクトルのマップを計測することによって、修正（補正）すべきテレセン誤差が発生している投影視野IF内での座標位置を決定し、その座標位置における主光線の傾き補正量を計算し、その計算結果に基づいてテレセン補正板7N（又はレンズ素子）の表面を局所的に研磨して波長オーダーの微小傾斜を形成すればよい。

【0194】また、空間像検出器KESにより照明光のテレセン誤差特性を計測してテレセン補正板7Nの研磨状態をシミュレーションし、その結果に基づいて実際の研磨加工を行うとともに、その加工されたテレセン補正板7Nを挿入して試し焼き（走査露光）を行ったときのレジスト像の状態を光学顕微鏡、電子顕微鏡により観察、計測した結果を勘案して、テレセン補正板7Nを再度研磨加工（修正研磨）することが望ましい。

【0195】このように投影像の空間的な強度分布の光電的な検出結果と、試し焼きによってレジスト層に実際に蝕刻される像の質の計測結果との双方に基づいて研磨加工するやり方は、テレセン補正板7Nの他に像歪み補正板G1の製作の際にも同様に適用でき、実際のデバイスパターンをウェハW上に走査露光するときの投影性能を最大限に引き出すことが可能となる。

【0196】さらにテレセン補正板7Nは、先に説明した像歪み補正板G1と同様に照明系の光軸AXと垂直な面に対して任意の方向に傾斜可能にしておく、と、投影視野内の各点で一律に生じているテレセン誤差（オフセット分）を投影視野内で一括して補正することができる。ところで、空間像検出器KESを用いたL&Sパターンの投影像の計測によって、投影視野IF内、又は矩形の投影領域EIA内の各点で生じる像面アス、コマ収差、或いは像面湾曲等を計測することができる。そこで図2中に示した投影光学系PLの下端部のアスコマ補正板G3についても、投影視野IF内または矩形投影領域EIA内の各点において計測されたアスやコマの収差量に基づいて、その収差量が走査露光時の平均化によってゼロに追い込まれるように、或いはスタティックな状態のまままでゼロに追い込まれるように同様に研磨加工され、研磨後に投影光学系PLの下端部に挿入される。

【0197】また図2では省略したが、投影光学系PLの下端部には投影像面の湾曲を補正するような面形状を持った像面湾曲補正板（石英板）G4が図23のようにアスコマ補正板G3と並んで装着される。図23は投影光学系PLの下端部の部分断面を示し、投影像面PF3に最も近い位置にあるレンズ素子Gaが環状の保持金物175を介して投影光学系PLの鏡筒内に固定されている様子を示す。そしてアスコマ補正板G3と像面湾曲補正板G4は、レンズ素子Gaと像面PF3との間で環状の保持金物176を介して鏡筒内に固定される。

【0198】ここで像面PF3は、レチクルRのパターン面と光学的に共役なベストフォーカス面であり、その像面PF3上の像点ISP2'に収斂する結像光束LB'(i,j)の主光線ML'(i,j)は、レンズ素子Gaと像面PF3との間では光軸AXと平行になっているものとする。このとき結像光束LB'(i,j)の開口数NAwは、レチクル側での開口数NArに比べて投影倍率(1/4, 1/5等)の逆数分だけ大きく、NAw=0.5~0.7程度になっている。

【0199】そのため、アスコマ補正板G3、像面湾曲補正板G4を通るときの結像光束LB'(i,j)の広がり面積は、レチクル側の像歪み補正板G1に比べて格段に大きくなってしまふ。このため、像点ISP2'の近傍に位置する別の像点を作る結像光と図23中に示した結像光束LB'(i,j)とがアスコマ補正板G3中で重なってくることは避けられない。

【0200】しかしながら、アスコマ補正板G3の表面の研磨加工は、矩形投影領域EIA内の幅方向（走査方向）に関する収差特性も走査露光により平均化されることを勘案すれば、アスコマ補正板G3の全面で考慮する必要はなく、走査露光時の平均化を考慮して局所領域に対して行えばよく、アスコマ補正板G3の研磨加工時の研磨面のつなぎは比較的容易に行なえる。

【0201】一方、像面湾曲は、ある照明条件のもとで投影されたテストレチクルTR上の各点のL&Sパターンの像について、そのベストフォーカス位置（Z位置）を試し焼きによるオフライン方式や空間像検出器KESを使って計測し、計測された各点でのベストフォーカス位置を最小二乗法等により近似した近似面（曲面）を求めることで決定される。

【0202】この場合、空間像検出器KESによる投影像の検出は、テレセン誤差計測のときのように、斜入射光方式等の焦点検出系で遮光板140の表面高さ位置を計測しつつテーブルTBのZ位置を変えて行われ、L&Sパターンの投影像のコントラスト（微分波形のピーク値、ボトム値のレベル）が最も高くなるようなテーブルTBのZ位置をベストフォーカス位置として計測する。

【0203】そのようにして決定された投影像面の近似面のフラットネスが、少なくとも走査露光時の矩形投影領域EIA内で許容範囲内にないときは、投影光学系PLから像面湾曲補正板G4を取り出して像面湾曲を修正するような研磨加工が行なわれる。この場合、像面湾曲補正板G4は、一般的には一方の表面が全体的に正の曲率で研磨され、他方の表面がほぼ同じ負の曲率で研磨され、投影視野内の全体的な像面湾曲の傾向を補正するように製作される。

【0204】しかしながら、投影視野内（矩形投影領域EIA内）で局所的に像面湾曲が大きくなっているところがあれば、その部分については局所的に追加研磨を行なって補正することもできる。また以上のアスコマ補正板G3、像面湾曲補正板G4の製作にあたっては、空間像検出器KESによる投影像の光電的な計測結果に頼るだけでなく、試し焼きによって転写された実際のレジスト像のプロフィール等を計測し、その計測結果も勘案することが望ましい。次に、上述のディストーション特性、アスコマ収差、像面湾曲等の計測時に考慮しなければならない他の照明条件に関して説明する。先に述べたように、図2に示した第1フライアイレンズ7C、第2フライアイレンズ7Gの作用によってブラインド7Lの

位置、レチクルR（テストレチクルTR）のパターン面位置、及び投影光学系PLの像面（ウェハ面）位置等の被照射面で、 $\pm 1\%$ 程度の均一な照度分布を得ることができる。

【0205】ところが照明光の照射状態は、被照射面における照度分布の均一性の問題だけではなく、被照射面内の位置に応じて照明光の開口数（NA）が部分的に異なる現象、即ち光軸AXからの距離である像高に応じたNA差（照明角度内のむら）の発生によって、解像力、ディストーション誤差、各種収差等を含む総合的な結像性能が局所的に劣化するという問題があることも判明した。この現象は、照明系の像高位置に依存した $\sigma$ 値の変化の他に、図2中に示した第2フライアイレンズ7GからレチクルRまでの照明光学系による各種収差、その照明光学系を構成する複数の光学部材の組立て製造時の配置誤差、又は各光学部材にコートされる反射防止用の薄膜の角度特性等によっても引き起こされる。

【0206】またこのような像高に応じた照明光のNA差は、投影光学系PL単体の収差によっても生じ得る現象であり、結局のところ、図24に誇張して示すように、例えば投影像面PF3上に3つの像点ISP<sub>a</sub>、ISP<sub>b</sub>、ISP<sub>c</sub>の各々を形成するための結像光束LB<sub>a</sub>、LB<sub>b</sub>、LB<sub>c</sub>の開口数NA<sub>a</sub>、NA<sub>b</sub>、NA<sub>c</sub>が像高位置 $\pm \Delta H_x$ に応じて異なる現象となって生じる。

【0207】図24は、レチクルR上の光軸AXの位置にある物点（理想格子点）GP<sub>b</sub>、その物点GP<sub>b</sub>からX軸（非走査方向の軸）に沿った正方向に距離 $M \cdot \Delta H_x$ だけ離れた物点GP<sub>c</sub>、及び物点GP<sub>b</sub>からX軸の負方向に距離 $M \cdot \Delta H_x$ だけ離れた物点GP<sub>a</sub>の各々を、縮小倍率 $1/M$ （Mは2～10程度）の両側テレセントリックな投影光学系PLを介して投影像面PF3上に像点ISP<sub>a</sub>、ISP<sub>b</sub>、ISP<sub>c</sub>として結像投影する様子を表したものである。

【0208】この際、レチクルRは所定の開口数、所定の $\sigma$ 値に調整された照明光ILBによってほぼ一様な強度分布で照射され、各物点から像歪み補正板G1を介して投影光学系PLに入射する光のうち、投影光学系PLの瞳（絞り開口）Epで遮光されることなく像面PF3側に向かう結像光束LB<sub>a</sub>、LB<sub>b</sub>、LB<sub>c</sub>が各像点の結像に寄与する。

【0209】また図24において、結像光束LB<sub>a</sub>、LB<sub>c</sub>の各々の左側に破線で示した部分光束は、本来の開口状態から照明角度内のむらとなって欠落、或いは減衰した部分を表す。このように像高位置に応じたNA差が生じると、像高 $+\Delta H_x$ での結像光束LB<sub>a</sub>と像高 $-\Delta H_x$ での結像光束LB<sub>c</sub>の各主光線は瞳Epの中心点（光軸AX）を通るものの、各結像光束LB<sub>a</sub>、LB<sub>c</sub>の断面内での光量重心で決まる重心線は像面PF3において主光線から傾いたものになってしまう。

【0210】このような照明光の像高に応じたNA差が

ある状態で、例えばレチクルR上の照明領域の中央、即ち投影光学系PLの光軸AXの近傍に位置するほぼ解像限界のL&Sパターンと、光軸AXから離れた照明領域の周辺部に位置するほぼ解像限界のL&Sパターンとを投影露光する場合を考えてみる。この場合、その2ヶ所のL&Sパターンの各々を照射する照明光の強度分布が同一であっても、光軸AX近傍のL&Sパターンに対する照明光の方が光軸AXから離れたL&Sパターンに対する照明光に比べて実効的なNAが大きく（場合によっては小さく）なっている。このため最終的にウェハW上に転写されるL&Sパターンの解像は光軸AX近傍のものと周辺部のものとで異なることになり、同一ライン幅、同一ピッチのL&Sパターンであるにも関わらず、像面内の位置に応じて転写される像のコントラストやライン幅が異なってしまうといった問題がある。

【0211】さらに照明光のNA差は、ピッチ方向を異ならせた同一デザインの2つのL&Sパターンがレチクル上に近接して設けられているとき、その2つのL&Sパターンの投影像の線幅やデューティをピッチの方向に応じて微小に変えてしまうといった問題を引き起こす。尚、照明領域の中央と周辺とで実効的なNAの差は無いものの、レチクルR（又はウェハW）に照射される照明光束の全体が光軸AXに対して対称な角度でなく、ある方向に僅かに傾くといった問題も起り得るが、その場合は第2フライアイレンズ7Gやその他の照明光学系内の光学素子の位置をX、Y、Z又は $\theta$ 方向に微動させることによって調整可能である。

【0212】以上のような照明光の像高に応じたNA差は、先の図14～17のようにしてディストーション特性を計測する場合、図22のようなテレセン誤差マップを計測する場合、或いはアスコマ収差や像面湾曲を計測する場合にも当然問題となり、計測されるスタティックな像歪みベクトルやテレセン誤差ベクトル等に誤差が含まれてしまう。

【0213】そこで、デバイス製造ラインでのウェハ露光の際は言うに及ばず、像歪み補正板G1の製作時のディストーション計測、テレセン誤差の計測時、アスコマ収差の計測時、或いは像面湾曲の計測時のときから、レチクルRへの照明光の像高に応じたNA差を調整しておくことが望ましい。そのために設けられたのが、図2中の第2フライアイレンズ7Gの入射面側に配置した照明NA差の補正板（照明NA補正板とする）7Fである。

【0214】ところで、先に図14で説明した空間像検出器KESは、投影像面上の矩形開口141内の光量を検出するものであり、投影像面での照明光の照度と照明光の像高に応じたNA差とを区別して検出することはできない。これに対してウェハW上のレジスト層は、照明光の像高に応じたNA差と照度変化とに対して敏感であり、レジスト層に投影されたパターン像の結像特性（レジストのプロファイル）に明確な違いとなって現れる。

【0215】そこで本実施例では、装置稼働中の任意のタイミングで照明光の像高に応じたNA差を自動的に計測することが可能な照明NA計測センサー200を、例えば図25に示すように図2中のウェハテーブルTB上に取付け金具Acmを介して着脱可能に設ける。図25は、照明NA計測センサー200が取り付けられるテーブルTBの部分構造と投影光学系PLの下端部とを示す拡大図であり、センサー200の上面には、石英板の表面全体にクロム等による遮光層を形成した遮光板201が設けられ、その遮光層の一部には照明光の波長 $\lambda$ 、投影光学系PLの像側の開口数NAw等に基づいて決まる直径のピンホール202が形成されている。

【0216】そして遮光板201のピンホール202の下には、ピンホール202を透過してきた照明光を平行光束に変換するレンズ素子203、所謂フーリエ変換レンズが設けられ、そのレンズ素子203によるフーリエ変換面には2次元撮像素子としてのCCD204が配置され、それらの遮光板201、レンズ素子203、及びCCD204はセンサー200のケース205内に一体に保持される。そのCCD204からの画像信号は、信号ケーブル206を介して装置外部に配置された画像処理回路210と映像信号ミキサー回路211とに送られる。

【0217】ミキサー回路211は、画像処理回路210で作られるスケール信号やカーソル信号とケーブル206からの画像信号とを合成してディスプレイ212上に瞳Epに形成される光源像SSiを表示するように制御する。尚、画像処理回路210は、光源像SSiの光強度分布を第2フライアイレンズ7Gのレンズ素子の配置と対応付けて検出するとともに、その強度分布の中で特に不均一となっている部分を解析するソフトウェアを備え、その解析結果を図2中の主制御系32に送出する機能を有している。

【0218】以上のセンサー200の構成において、センサー200の遮光板201の表面は、照明光のNA差の計測時には焦点検出系とアクチュエータZACとによって投影光学系PLの投影像面PF3と一致したZ位置、若しくは投影像面PF3から一定のオフセットを伴ったZ位置に所定のレベリング状態で設定される。さらにXYステージ14は、投影光学系PLの投影視野IF内または矩形投影領域EIA内の任意のX、Y位置にピンホール202が配置されるように駆動系64によって駆動される。

【0219】そして計測時には、パターンが描画されていない素レチクルをレチクルステージ8上に装着し、その素レチクルを照明光ILBで一樣照明するとともに、投影視野IF内または矩形投影領域EIA内の計測したい像高位置にピンホール202を位置付ける。その際、照明光ILBがパルス光であるため、CCD204を電荷蓄積型にしておけば、照明光ILBを予め指定された

パルス数で照射している間にピンホール202を透過してきた照明光がCCD204で積算されて光電検出される。

【0220】そのCCD204の撮像面はフーリエ変換面になっているため、CCD204は投影光学系PLの瞳Epに結像される光源像SSiの強度分布を撮像することになる。ただし瞳Epに形成される光源像SSiは、図2中の第2フライアイレンズ7Gの射出面側に形成された無数の輝点の集合面のうち、空間フィルタ7Hの開口を通過してきた部分の形状と相似になっている。

【0221】ところで本実施例においては、矩形投影領域EIAの幅方向(Y方向)に走査露光する装置を前提としているので、ウェハW上に転写されるパターン像の質の照明NA差による影響も、投影領域EIAの幅方向の寸法に渡って照明NA差を平均化したものとなっている。そこでディストーション計測の場合と同様に、投影領域EIAを非走査方向(X方向)に一定間隔で複数の領域に分割し、その分割された領域毎に走査方向のスタティックな照明NA差を平均化してダイナミックな照明NA差を求めるのが望ましい。

【0222】そこで、まず図26(A)、(B)を参照してスタティックな照明NA差の計測について説明する。図26(A)、(B)はピンホール202を投影領域EIA内の異なる位置に配置したときにディスプレイ212上にそれぞれ表示される光源像SSiの一例を模式的に示した図である。ディスプレイ212の画面上には、第2フライアイレンズ7Gの射出側のレンズ素子の配列7G'(光源像SSi)を表わすカーソル線や、X、Y方向の位置を表わすスケール線SCLx、SCLyが同時に表示されている。

【0223】図26(A)、(B)において、第2フライアイレンズ7Gの射出面側の配列7G'は全体としてほぼ正方形に整形され、個々のレンズ素子の断面形状は投影領域EIAとほぼ相似の長方形になっている。即ち個々のレンズ素子の入射面側は被照射面(ブラインド面、レチクル面、或いは投影像面)と共役になっているため、個々のレンズ素子の断面は被照射面上での投影領域EIAを効率的に照射するように走査方向(Y方向)の寸法が非走査方向(X方向)の寸法よりも小さくなっている。

【0224】そして図26(A)の場合、配列7G'内の左上隅の領域KL a、最上部列の領域KL b、右下隅の領域KL cの各々の強度が、その周囲の強度よりも許容値以下になっており、図26(B)の場合は、配列7G'内の右上隅の領域KL dと右下隅の領域KL eの各々の強度がその周囲の強度よりも許容値以下になっている例を示す。

【0225】このように投影光学系PLの瞳Epに形成される光源像SSiの強度分布は、ピンホール202の投影視野内での位置、即ち像高に応じて変化するため、

投影されるレチクルR（又はTR）のパターン像の質が投影視野内の位置に応じて劣化することがある。例えば、図26（A）のように光源像SSi（配列7G'）の全体的な分布の重心が同図中の座標原点（光軸AX）から左下の方に偏心している場合は、その像高位置で投影されるパターン像の結像光束がテレセントリックな状態から劣化したものとなる。また図26（A）と図26（B）とを比べてみると、図26（A）の場合の方が投影像面PF3上での照明光束のNAが全体的に小さくなっている。

【0226】尚、実際にウェハWを走査露光するときの光源像SSiの形状は、第2フライアイレンズ7Gの射出側に配置された空間フィルタ7Hの開孔形状によって設定されているため、実際は図26（A）、（B）のような正方形の配列7G'のうちの空間フィルタ7Hで制限された開孔形状（円形、輪帯、4開孔等）となっている。

【0227】さて、このような投影視野内の像高に応じた照明NA差を走査方向に平均化するには、先の図4と同様に矩形投影領域EIA内にマトリックス状の複数の計測点を設定し、その各計測点毎にピンホール202を位置付けしてはCCD204からの画像信号をディスプレイ212上で観察するとともに、画像処理回路210によって光源像SSi（配列7G'）の強度分布中の不均一な領域を解析し、その解析結果に基づいて計測点毎のスタティックな照明NA特性（NAの方向性とその程度を表すベクトル）を順次記憶していく。

【0228】その後、各計測点のスタティックな照明NA特性のうち、走査方向に並んだ幾つかの計測点での照明NA特性を平均化してダイナミックな照明NA特性を算出する。このダイナミックな照明NA特性は、矩形投影領域EIAの非走査方向の一定間隔毎に求められ、それらのダイナミックな照明NA特性を比較することで、特に非走査方向に関しての像高に応じた照明NA差が求められる。そして、以上のようにして求められたダイナミックな照明NA特性に基づいて、図2中の第2フライアイレンズ7Gの入射面側に配置された照明NA補正板7Fが加工され、非走査方向に関するダイナミックな照明NAの差がほぼゼロになるように補正される。本実施例の場合、投影光学系PLの円形投影視野IF内の非走査方向に延びる直径に沿って矩形投影領域EIAが設定されているため、ダイナミックな照明NAは光軸AXからの像高に応じたものになっている。

【0229】従って、非走査方向に関するダイナミックな照明NA差を補正するためには、非走査方向についての各像高毎の照明 $\sigma$ 値にオフセットを持たせるように照明NA補正板7Fを製作すればよい。照明 $\sigma$ 値を像高に応じて変化させる手法としては、例えば第2フライアイレンズ7Gの入射面側で周辺のレンズ素子（ロッドレンズ）毎に、そのレンズ素子に入射する照明光束の大きさ

や強度を変えたり、強度分布を偏心させたりするための減光部を、照明NA補正板7Fの透明基板（石英）上に局部的に形成すればよい。

【0230】そこで、まず図27を参照して被照射面上における照明光の状態について簡単に説明する。図27は、図2に示した第2フライアイレンズ7Gから被照射面PF1までの系を模式的に示したものであり、集光レンズ系180は図2に示したミラー7J、集光レンズ7Kと7M、ミラー7P及びコンデンサーレンズ系7Qの合成系を表わしている。従って被照射面PF1は、説明を簡単にするために第2の被照射面であるレチクルRのパターン面とする。ただし実際に評価すべき照明NA差は、投影光学系PLを含めて第3の被照射面であるウェハW（又は計測センサー200の遮光板201）側の投影像面PF3で求められる。

【0231】さて図27において、第2フライアイレンズ7Gは複数個の角柱状のロッドレンズを束ねたものであり、被照射面PF1と共役な入射面PF0に入射する照明光束ILBは各ロッドレンズによって分割され、射出面E'側に複数個の点光源像（集光点）となって集光される。ここで、第2フライアイレンズ7G中の光軸AXから離れたロッドレンズの射出面E'側に形成される光源像をそれぞれQP<sub>a</sub>、QP<sub>b</sub>とする。

【0232】ただし先の図2で説明したように、本実施例では第1フライアイレンズ7Cが設けられているため、第2フライアイレンズの1つのロッドレンズの射出面E'側に形成される光源像は、第1フライアイレンズ7Cの射出側に形成される複数個の点光源像の集合体をリレーしたものとなっている。被照射面PF1からみて第2フライアイレンズ7Gの射出面E'はフーリエ変換面（瞳面）となっており、第2フライアイレンズ7Gのロッドレンズの各々から発散して進む分割光は集光レンズ180によってほぼ平行光束に変換されて被照射面PF1上で重畳（インテグレート）される。これによって被照射面PF1上での照明光の強度分布は一様化される。ところが、被照射面PF1上の光軸AXから非走査方向（X方向）に離れた周辺の被照射点ISP1に照射される照明光束の状態を見てみると、図27中の右下に斜視図で示したように、点ISP1に収斂される照明光束の開口数は、光束中の強度減衰した部分DK1のために相対的にX方向に小さくなっている。尚、同図においてML1は投影光学系PLの瞳の中心点を通して被照射点ISP1に至る主光線を表わす。

【0233】このように部分DK1のような減衰（又は増大）部を含む照明光束は、図27において、第2フライアイレンズ7Gの左端に位置するロッドレンズで形成される光源像QP<sub>a</sub>の強度が極端に小さい（或いは極端に大きい）場合、又は第2フライアイレンズ7Gの右端に位置するロッドレンズで形成される光源像QP<sub>b</sub>の強度が極端に大きい（或いは極端に小さい）場合などに発

生し得る。そこで例えば図28(A)に示すように、第2フライアイレンズ7Gの左端側又は右端側のロッドレンズに入射する幅DFxの照明光束が全体的若しくは部分的に減光されるような薄膜フィルター部SGa又はSGbを遮光部として照明NA補正板7F上に形成する。尚、図28(A)は第2フライアイレンズ7Gと照明NA補正板7Fとの位置関係をXZ平面内で拡大して示した図であり、図28(B)は照明NA補正板7F上に形成されるフィルター部SGa、SGbと、第2フライアイレンズ7Gのロッドレンズ(長方形の断面)の配列との平面的な位置関係を示した図である。

【0234】図28(B)に示すように、第2フライアイレンズ7Gの各ロッドレンズの断面は非走査方向(X方向)に延びた長方形であり、各ロッドレンズの配列のうちX方向の両端側でY方向に並んだロッドレンズの各々に対応してフィルター部SGa、SGbが個別に設けられている。本実施例では、特に非走査方向に関するダイナミックな照明NA差を補正するようにしたので、第2フライアイレンズ7Gのロッドレンズの配列についても、主にX方向に配列したロッドレンズの並びの両端側に着目して、フィルター部SGa、SGbを設定した。

【0235】このため、フィルター部SGa又はSGbはどちらか一方のみでもよく、またフィルター部SGa又はSGbの形状はY方向に並んだロッドレンズに対して同一にすることもできる。しかしながらここでは、フィルター部SGa、SGbをY方向に並んだロッドレンズの位置に応じて少しずつ異なる形状、配置に設定し、非走査方向だけでなく走査方向(Y方向)についてもダイナミックな照明NA差が小さくなるようにした。

【0236】以上のようにして照明NA補正板7Fを作成する場合も、先の像歪み補正板G1の作成時と同様に、照明NA補正板7Fの母材となる完全な透明基板(石英)を図2に示すように第2フライアイレンズ7Gの入射面側に配置し、レチクルRを素レチクルに交換した状態で、図25の計測センサー200を用いてダイナミックな照明NA特性を計測する。そしてその計測結果に基づいて、露光装置から取り外した母材となる透明基板(又はその同等品)に対して減光部となるフィルター部SGa、SGb等を形成すればよい。

【0237】もちろん、製作された照明NA補正板7Fを照明光路内の所定位置に取り付けた後、再び図25の計測センサー200を用いてダイナミックな照明NA特性を計測し、像高に応じたダイナミックな照明NA差の補正が良好に行なわれているか否かを検定しておくことが望ましい。また以上のような照明NA補正板7Fの製作とそれによる照明NAの補正は、像歪み補正板G3、アスコマ収差補正板G3、像面湾曲補正板G4の製作時のテストレチクルTRによる各種の計測作業の前に行なっておく必要があることは言うまでもない。ところで図

2に示した通り、第2フライアイレンズ7Gの射出側には、投影光学系PLの瞳Epに形成される光源像SSIの形状やサイズを変更するための空間フィルター7Hが切り替え可能に設けられている。このため空間フィルター7Hが、通常の円形開口から輪帯開口に切り替えられたり、輪帯開口から4開口に切り替えられたりすると、レチクルRやテストレチクルTRを照射する照明光束の光学特性が異なり、投影光学系PLに対する影響も異なったものとなる。

【0238】そこで空間フィルター7Hの切替えに連動して、先に説明した像歪み補正板G1、アスコマ収差補正板G3、像面湾曲補正板G4、照明NA補正板7Fの各々を、空間フィルター7Hの開口形状に応じた最適なものに交換可能に構成しておくのがよい。図29は、像歪み補正板G1、アスコマ収差補正板G3、像面湾曲補正板G4、照明NA補正板7Fの各々を交換可能にした投影露光装置の概略構成を示し、照明光学系内の集光レンズ7Eから投影光学系PLの投影像面PF3までの各光学部材の基本配置は図2の構成と同じである。そして図29において、像歪み補正板G1は、空間フィルター7Hの開口形状や寸法に応じて予め研磨加工されてライブラリー220内にストックされた複数枚の像歪み補正板G1'と交換可能になっており、その交換作業は主制御系32からのコマンドにตอบสนองして動作する自動交換機構222によって行なわれる。

【0239】またターレットやリニアスライダ等の切替え機構224上には複数枚の照明NA補正板7Fが取り付け可能になっており、その複数枚の補正板7Fの各々は空間フィルター7Hの開口形状や寸法に応じてダイナミックな照明NA差が最小となるように予め作成され、どの照明NA補正板を選択するかは主制御系32からのコマンドにตอบสนองして選ばれた空間フィルター7Hに対応して決定される。

【0240】さらにアスコマ補正板G3と像面湾曲補正板G4についても、空間フィルター7Hの切替えに対応して予め作成された複数枚がライブラリー226内にストックされており、そのうちの適合した補正板G3、G4が主制御系32からのコマンドにตอบสนองして自動交換機構227によって選択されて、投影光学系PLの下端部に装着される。

【0241】尚、テレセン補正板7Nについても、主制御系32からのコマンドにตอบสนองして照明条件(空間フィルター7H)に応じて予め研磨加工されたテレセン補正板と交換する自動交換機構228が設けられるが、照明光束の全体の平均的なテレセン誤差を一律に直すだけであれば、自動交換機構228は単にテレセン補正板7Nの傾斜を2次元に調整するアクチュエータで構成してもよい。

【0242】以上のような構成により、主制御系32からのコマンドにตอบสนองして照明条件の変更に伴って生じる

照明光束の光学特性と投影光学系PLの結像特性との各変動を最適に補正することができ、常に収差(等方的な倍率誤差を含むディストーション誤差、像面湾曲誤差、アス、コマ、テレセン誤差等)が少ない状態でレチクルRのパターン像をウェハW上に投影転写することができる。以上の各実施例で例示した投影光学系PLは、石英や螢石を光学硝材とした屈折光学素子(レンズ)のみで構成される縮小投影レンズとしたが、その他のタイプの投影光学系であっても本発明は全く同様に適用できる。そこで図30を参照して、その他のタイプの投影光学系について簡単に説明する。

【0243】図30(A)は、屈折光学素子(レンズ系)GS1~GS4、凹面鏡MRs、ビームスプリッタPBSを組み合わせた縮小投影光学系であり、この系の特徴は、レチクルRからの結像光束を大きなビームスプリッタPBSを介して凹面鏡MRsで反射させて再びビームスプリッタPBSに戻し、屈折レンズ系GS4で縮小率を稼いで投影像面PF3(ウェハW)上に結像する点であり、詳しくは特開平3-282527号公報(NC)に開示されている。

【0244】図30(B)は、屈折光学素子(レンズ系)GS1~GS4、小ミラーMRa、凹面鏡MRsを組み合わせた縮小投影光学系であり、この系の特徴は、レチクルRからの結像光束を、レンズ系GS1、GS2、凹面鏡MRsからなるほぼ等倍の第1結像系PL1、偏み配置の小ミラーMRa、そしてレンズ系GS3、GS4で構成されてほぼ所望の縮小率を持った第2結像系PL2を通して投影像面PF3(ウェハW)上に結像させる点であり、詳しくは特開平8-304705号公報(NC:高橋)に開示されている。

【0245】図30(C)は、屈折光学素子(レンズ系)GS1と凹面鏡MRsを組み合わせた等倍投影光学系であり、この系の特徴は、レチクルRからの結像光束を、それぞれプリズム反射鏡MRe、レンズ系GS1、凹面鏡MRsとで構成される第1のダイソン結像系PL1と第2のダイソン結像系PL2とを通して投影像面PF3(ウェハW)上に等倍の正像として結像させる点であり、詳しくは特開平7-57986号公報(NC:田中)に開示されている。

【0246】以上の図30(A)、(B)、(C)に示した投影光学系の各々を搭載した露光装置に対しても、先に説明した像歪み補正板G1、アスコマ補正板G3、像面湾曲補正板G4が同様に装着可能である。特に図30(B)、(C)の投影光学系ではレチクルR上の照明領域内のパターンとはほぼ等倍の中間結像面PF4が形成されるため、その中間結像面PF4の近傍に像歪み補正板G1、アスコマ補正板G3、像面湾曲補正板G4の少なくとも1つを配置することができる。

【0247】また図30(A)、(B)、(C)に示した投影光学系は、使用する光学硝材や表面コート材等を

選択することにより、ArFエキシマレーザ光等の中心波長が200nm以下の紫外線に対しても十分適用可能な系である。このような投影光学系を使う場合であっても、先に説明した実施例と同様に、(1)設定された照明条件のもとでダイナミックな光学特性(ディストーション、アスコマ収差、照明NA差等)の計測、(2)その計測結果に基づいて各種補正板の加工、(3)作成された各種補正板の装着と調整(再計測も含む)、といった一連のシーケンスを実施することによって、最終的に感光基板上に転写されるパターン像の歪み、絶対的な投影位置の誤差、或いはローカルな重ね合わせ誤差が、転写すべきパターン像の最小線幅の1/10程度(十数nm程度)以下に抑えられるといった顕著な効果が得られる。ところで、先の図2、図30に示した投影光学系のうち、図2と図30(A)とに示した投影光学系は円形の投影視野を有し、図30(B)、(C)に示した投影光学系はほぼ半円形の投影視野を有している。そして、いずれの投影光学系を使う場合も、投影視野内で矩形スリット状に制限した実効投影領域EIAを走査露光に利用するものとしたが、場合によっては円弧上のスリット投影領域を設定してもよい。

【0248】その場合、レチクルR(TR)を照明する照明光の強度分布形状を単に円弧状スリットにすればよいが、照明光がパルス光であることを考慮すると円弧状スリットの走査方向の幅は、先に従来技術で挙げた1989年の文献SPIE, Vol. 1088のp. 424~433に示されている程に細くするのは得策ではなく、ある程度の幅が必要となる。

【0249】例えば、走査方向に関する円弧状スリットのウェハ上での幅Dapを1mm、走査中にその幅分だけウェハが移動していく間に撃つべきパルス光の数Nm(整数)を20パルスとし、照明光のパルス発振の最大周波数fpを1000Hz(レーザ光源の規格による)とすると、ウェハ上の1ショット領域を走査露光している間のウェハの移動速度Vwsは、 $Vws = Dap / (Nm / fp)$ の関係から50mm/Sec.となり、スリット幅Dapを大きくすればそれだけスループット向上が図れることがわかる。

【0250】従って円弧状スリットの照明光にする場合であっても、従来の方式よりも幅の広いもの、例えばウェハ上で3~8mm程度を採用する必要がある。ただしそのときは、円弧状スリット照明光の内側の円弧と外側の円弧とは同心にはせずに、円弧状スリットの走査露光の幅が円弧スリットの非走査方向のどの位置においても同じになるような三日月形にするのが望ましい。

【0251】尚、本発明の実施態様で説明した像歪み補正板G1、アスコマ補正板G3、像面湾曲補正板G4、テレセン補正板7N、照明NA補正板7Fによる各種の光学収差補正の考え方は、図30に示したカタディオプトリック系(屈折素子と反射素子の組合わせ系)の投影



光学系以外に、反射素子（凹面鏡、凸面鏡、トロイダル反射鏡、平面鏡等）のみで構成された縮小投影系を備えた波長50nm以下のX線露光装置にも同様に適用可能である。

【0252】このような極短波長の照明光に対しては良好な屈折作用を持つ光学材料が皆無であるため、ディストーション特性、アスコマ収差特性、テレセン特性等の補正は、専ら反射素子の反射表面の面形状を局所的に微小変形させることで達成可能である。その微小変形の手法としては、例えば投影光路内の物体面や像面に近い位置に配置される反射鏡の母材となる材料（低膨張ガラス、石英、ファインセラミックス等）の表面に比較的厚く堆積された反射層を研磨加工する方法、反射鏡の反射面の裏側や側面から母材に局所的な応力を加えて反射面形状を制御可能な範囲で故意に微小変形させる方法、反射鏡の裏面に温度調整器（ペルチェ素子、ヒートパイプ等）を取り付けて温度膨張により反射面形状を微小変形させる方法などが考えられる。ところで、像歪み補正板G1の作製時、テレセン補正板7Nの作製時、或いはアスコマ収差補正板G3の作製時には、走査露光の際の平均化を考慮したダイナミックなディストーション特性、ダイナミックなテレセン誤差特性、或いはダイナミックなアス特性等を計測によって求める必要があるが、そのような各種のダイナミックな収差特性はテストレチクルTR上の計測用マークパターンをウェハ上に走査露光方式で試し焼きした結果からも得ることができる。そこで以下にその場合の計測手法とシーケンスについて図31、32を参照して説明する。

【0253】先に説明したように、図1、2の露光装置を使って投影光学系PLの物体面上に位置する特定の物点を走査露光してウェハW上に転写すると、その物点のウェハWへの投影像は、投影光学系PLの実効投影領域EIA内の走査方向位置毎のスタティックなディストーション特性による変調を受けて平均化され、ウェハW上に転写された段階で既にダイナミックなディストーション特性（ダイナミックな像歪み誤差）を含んだものとなっている。

【0254】従って、図15に示したテストレチクルTRの計測用マークTM(i, j)をテストウェハ上に走査露光すると、テストレチクルTR上の理想格子点位置またはそれに相当する位置に形成されたL&SパターンMX(i, j), MY(i, j)の各投影像は、いずれもダイナミックな像歪みベクトル（ディストーション誤差）を伴ったものとなる。

【0255】そこで図31に示すように、試し焼きに適したノッチNT付きのスーパーフラットウェハWにレジスト層を塗布して図2の露光装置のテーブルTB上に載置する。そしてテストレチクルTR上のパターン領域（図15中の遮光帯LSBの内側）を、ウェハW上の例えば3×3のショット領域TS1～TS9の各々にステ

ップアンドスキャン方式で順次転写する。このとき、図31中の各ショット領域TS1～TS9はTS1, TS2, ..., TS9の順に同図中の矢印のようにY方向に交互に走査される。

【0256】これによって各ショット領域TS1～TS9には、図31の下側に拡大して示すように、テストレチクルTR内のマトリクス状に並んだテストマークTM(i, j)の各投影像TM'(i, j)が、ウェハW上のレジスト層に潜像として転写される。その後ウェハWはコーターデベロッパに送られ、実デバイス製造時と同等の条件でレジスト層が現像される。

【0257】現像されたウェハWは専用の検査測定装置に設置され、各ショット領域TS1～TS9内にレジスト層の凹凸で形成された各投影像TM'(i, j)の理想格子点からの位置ずれ量を計測する。この際に計測される投影像TM'(i, j)は、図15の下側に示したようなL&SパターンMX(i, j), MY(i, j)、十字状のランパスマークMLP、或いはバーニアパターンMvn等のいずれの像であってもよく、検査計測装置にあったものが使われる。

【0258】尚、各投影像TM'(i, j)の理想格子点からの位置ずれ計測は、投影露光装置に搭載されたアライメント検出系を利用するようにしてもよく、例えば特開平2-54103号公報に開示されているようなLSA系、FIA系、又はLIA系を搭載した投影露光装置に現像後のウェハWを装着し、レジスト層で形成されたパターンやマークを同様に計測することができる。

【0259】以上の計測作業で求められる各投影像TM'(i, j)の理想格子点からの位置ずれ量は、各理想格子点でのダイナミックな像歪ベクトルVP(Xi)を直接的に表わしたものとなる。そこで、例えば1つのショット領域TS9内の非走査方向（X方向）に一列に並んだ投影像TM'(i, j)の組GF(1), GF(2)の各々について像歪ベクトルVP(Xi)を計測してみると、各組GF(1), GF(2)内での像歪みベクトルは例えば先の図5(D)のようなディストーション特性を直接的に表わす。

【0260】しかしながら特定の1組のみでダイナミックなディストーション特性を決定しても、走査露光時のレチクルステージ、ウェハステージの移動制御精度や投影像TM'(i, j)の計測誤差等によってばらつきが生じ得るため、各投影像TM'(i, j)のうちで例えば走査方向（X方向）に伸びた線JLa, JLb, JLcの各々に沿った複数の投影像TM'(i, j)の各像歪ベクトルVP(Xi)を、線JLa, JLb, JLc毎に計算上で平均化する。

【0261】このようにすると、例えば線JLb上の複数の投影像TM'(i, j)の各像歪ベクトルVP(Xi)の平均値から、実効投影領域EIA内の線JLb上の位置またはその近傍におけるダイナミックなディストーション



ジョン特性が正確に求まることになる。ただしショット領域 $TS_n$ 内で線 $JLa$ ,  $JLb$ ,  $JLc$ の各々に沿った全ての投影像 $TM'(i, j)$ の各像歪ベクトル $VP(Xi)$ を平均化すると、走査露光時のレチクルステージ8、ウェハステージ14の走り誤差(走査軸の相対回転誤差、ヨーイング誤差等)も、ショット領域 $TS_n$ 内の走査方向の寸法に渡って平均化されてしまう。

【0262】そこで図32に示すように、ショット領域 $TS_n$ 内の走査方向(Y方向)の右端側の組GF(1)、中央の組GF(2)、そして左端側の組GF(3)の各々についてダイナミックな像歪ベクトル $VP(Xi)$ を実測によって求め、その実測された像歪ベクトル $VP(Xi)$ から各走査位置(ショット領域内のY方向位置)におけるステージ8、14の走り誤差分を差し引いたものをダイナミックなディストーション特性とする。

【0263】そして走り誤差分が取り除かれた各組GF(1)、GF(2)、GF(3)毎のディストーション特性を平均化すればよい。尚、ステージ8、14の走り誤差は走査露光時の干渉計46、62等の計測値(X, Y,  $\theta$ )を各組GF(1)、GF(2)、GF(3)の走査位置の近傍範囲でリアルタイムに記憶しておけば、後から計算上で容易に求めることが可能である。

【0264】また、各組GF(1)、GF(2)、GF(3)内でX方向の任意の位置におけるダイナミックな像歪ベクトル $VP(Xi)$ を決定する場合、その位置の周辺に位置する投影像 $TM'(i, j)$ の像歪ベクトル $VP(Xi)$ の実測結果を使って平均化してもよい。例えば図32に示したように、投影像 $TM'(i, j)$ のうち右上隅を $TM'(0, 0)$ とし、組GF(1)内の線 $JLb$ 上の像歪みベクトルを決定する場合は、その位置にある投影像 $TM'(7, 1)$ と、周辺に位置した投影像 $TM'(6, 0)$ ,  $TM'(6, 2)$ ,  $TM'(8, 0)$ ,  $TM'(8, 2)$ の各々における像歪ベクトル $VP(Xi)$ の実測値を平均化する。

【0265】同様に、組GF(1)内の線 $JLd$ (線 $JLb$ の隣の位置)上の像歪みベクトルを決定する場合は、その位置の周辺に位置した投影像 $TM'(5, 1)$ ,  $TM'(6, 0)$ ,  $TM'(6, 2)$ ,  $TM'(7, 1)$ の各々における像歪ベクトル $VP(Xi)$ の実測値を平均化すればよく、組GF(2)内の線 $JLb$ 上の像歪みベクトルを決定する場合は、その位置を中心とする楕円 $Gu(i, j)$ 内に存在する4つの投影像 $TM'(i, j)$ の各々における像歪ベクトル $VP(Xi)$ の実測値を平均化すればよい。

【0266】さらに本実施例の場合、ウェハW上に複数個のショット領域 $TS_n$ が形成されるので、ショット領域内の特定位置における像歪みベクトルを決定する場合は、他のショット領域内における同一位置でのダイナミックな像歪みベクトル(走り誤差分の補正後)を加算平均することでランダムな計測誤差を低減できるといった

利点がある。

【0267】以上のように本実施例の場合は、実際に走査露光方式で試し焼きを行った結果に基づいてダイナミックなディストーション特性を決定したが、この手法はダイナミックなテレセン誤差特性、ダイナミックなアス・コマ特性等の各種の結像諸収差を計測する場合にも全く同様に適用可能である。また本実施例では、試し焼きされたウェハ上の複数ヶ所のマーク投影像 $TM'(i, j)$ を検査測定するための専用の装置、或いは投影露光装置のアライメント系を必要とするが、実際にレジスト層に形成されたマーク投影像の位置、投影像の解像状態、L&Sパターン像の方向性による差異等を実測するため、その投影露光装置の照明光学系と投影光学系P<sub>L</sub>との実際の光学特性に基づいた計測が可能である。

【0268】

【発明の効果】以上の様に本発明によれば、走査露光方式に特有の走査方向に加算平均化されるダイナミックな収差情報を用いて、そのダイナミックな収差特性が補正されるように局所的に研磨加工された補正光学部材(G<sub>1</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub>等)をマスク(レチクルR)と被露光基板(ウェハW)との間の投影光路内に挿入するようにしたので、研磨加工すべき補正光学部材の表面形状と領域とを高精度に設計できるといった効果がある。更に、その研磨加工すべき表面形状も非常に緩やかに設定できる為、加工精度も向上するといった顕著な効果が得られる。その結果、露光時の収差補正精度は非常に高いものが得られる事になる。

【0269】また本発明は、投影露光方式の場合に問題となる収差諸特性のうちのディストーション特性以外の収差、例えばアス・コマ収差や像面湾曲またはテレセン誤差に対しても同様に適用することができる。一般に、静止露光方式の場合に発生するアス収差は投影光学系の最も像側のレンズ素子と被露光基板との間に挿入された平行平板(石英等)を投影光軸と垂直な面に対して微小に傾斜させることで補正可能である。

【0270】ところが走査露光方式の場合は、投影視野内の露光に寄与する領域が矩形スリット状または円弧スリット状になっており、しかも走査方向には加算平均化されるダイナミックなアス特性となることを考慮すると、そのスリット状の投影領域のセンター部分でダイナミックなアス収差が大きくなったり、非線形(又はランダム)なアスが発生したりすることがある。従ってこの様な場合も、本発明の手法を利用して投影光路内の像面近傍に配置されるアスコマ補正板の表面を局所的に面整形しておくことで高精度なアス補正が可能となり、これらの収差を除去できるといった顕著な効果が得られる。

【0271】また光学諸収差のうちの像面湾曲については、静止露光方式であれば投影光学系と被露光基板の間に配置される曲率半径が大きなレンズ素子を、僅かに曲率半径が異なる同径のレンズ素子に交換したりして補正

することが可能である。しかしながら走査露光方式の場合は、走査方向についてスタティックな像面湾曲特性が加算平均化されてしまうため、静止露光方式のようなレンズ素子の交換による像面傾斜、像面湾曲の補正だけでは修正し切れない非線形(ランダム)な像面湾曲誤差が残存する可能性がある。

【0272】従ってこの場合も、本発明の手法を利用すれば非線形(ランダム)な像面湾曲誤差を高精度に補正可能な像面湾曲補正板を作成することができるので、投影光学系による投影像面を全体的、局所的に均一な平面にすることができ、焦点深度(DOF: Depth Of Focus)を大幅に向上できるといった顕著な効果が期待できる。

【0273】以上の本発明のような各種収差特性の補正技術や補正板の製造技術は、特に像側開口数が0.65以上の高NA投影光学系を介して平坦化技術が適用された被露光基板上に最小線幅0.08~0.2 $\mu$ m程度の回路パターン像を投影露光する際には不可欠な技術となる。ただし本願の実施態様で説明した走査露光方式においては、投影領域内のスタティックな諸収差が走査方向に関しては平均化されるため、投影領域内でスタティックな諸収差が最小な部分と比べると、被露光基板上に転写される像に生じる収差(像質)が劣化してくる可能性はある。

【0274】このため、像劣化が発生する様な状態での平均化は行うべきではないので、投影光学系単体の組立て、調整時に可能な限り諸収差が小さくなるようにレンズ素子や光学部材の微動により追い込み補正し、更に、その投影光学系の鏡筒を装置ボディに取り付けた状態で鏡筒内のレンズ素子や光学部材の位置を微調整する等の作業を行ない、線形な収差(関数近似可能な収差特性)は可能な限り計算値から取り除くような努力が必要である。

【0275】そして線形収差を取り除いた後に残存する非線形誤差(ランダム成分)に対して収差補正が行われるように補正光学部材を加工しておけば、線形収差成分とランダムな収差成分とをほぼゼロに抑えることが可能となる。このため、複数台の投影露光装置を半導体デバイスの製造ライン内の重ね合わせ露光時に混用する場合、ディストーション・マッチングやミックス&マッチの精度を数nm~十数nm程度に維持でき、半導体デバイス製造上の歩留まりを向上させることができるといった顕著な効果が奏される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施に好適な投影露光装置の全体的な外観を模式的に示す斜視図である。

【図2】 図1中の投影露光装置の本体の詳細な構成を示す図である。

【図3】 図1、2中の投影光学系の投影視野内に生じるディストーション特性の一例を模式的に示す図であ

る。

【図4】 走査露光方式によってディストーション特性(像歪みベクトル)が平均化される様子を説明する図である。

【図5】 平均化されたダイナミックなディストーション特性の代表的ないくつかの例を説明する図である。

【図6】 ランダムに生じるダイナミックな像歪みベクトルを所定の関数に近似されるように補正する場合を説明する図である。

【図7】 ダイナミックな像歪みベクトルを補正するための補正ベクトルの求め方を説明する図である。

【図8】 像歪み補正板によって結像光束が補正される様子を説明する部分拡大図である。

【図9】 図8中に示した像歪み補正板の表面を局所的に研磨加工した状態を誇張して示す部分断面の拡大図である。

【図10】 最終的に研磨加工された像歪み補正板の局所的な研磨領域の分布状態の一例を模式的に示す平面図である。

【図11】 図10の像歪み補正板を研磨加工するのに好適な研磨加工機の簡単な構成を示す図である。

【図12】 図10の像歪み補正板が取り付けられる支持プレートの構成を示す平面図である。

【図13】 図12の支持プレートとともに投影露光装置の投影光学系の光路内に装着された像歪み補正板の様子と、その保持構造を示す部分断面図である。

【図14】 投影露光装置のウェハステージ上に取り付けられた空間像検出器の構造とその処理回路の構成とを示す図である。

【図15】 各種の収差特性を計測するための計測用マークが形成されたテストレチクルの構成を示す平面図と、一ヶ所の計測用マーク領域内に形成された計測パターン群の様子を示す平面図である。

【図16】 投影像面内の1ヶ所に投影されたテストレチクル上のL&Sパターンの像を空間像検出器によって検出する様子を説明する図である。

【図17】 空間像検出器によって出力される光電信号の波形の一例を説明する波形図である。

【図18】 空間像検出器からの信号波形とその微分信号の波形を示す波形図である。

【図19】 ウェハステージ用のレーザ干渉計の計数用パルスとエキシマレーザ光源のトリガパルスとの関連を説明するタイミングチャート図である。

【図20】 空間像検出器からの光電信号をデジタル変換して記憶する処理回路の変形例を示す回路ブロック図である。

【図21】 像歪み補正板の両面を研磨加工した場合の一例を誇張して示す部分断面の拡大図である。

【図22】 空間像検出器によって計測される投影光学系のテレセン誤差の一例を示す図である。

【図23】 投影光学系の像面側に配置されるアス・コマ補正板と像面湾曲補正板との状態を示す部分断面図である。

【図24】 投影光学系を通して投影像面側に投影される結像光束（又は照明光束）の像高に応じた開口数（NA）の違いを説明する図である。

【図25】 照明光束の像高に応じたNA差を計測するための計測センサーの構造とその処理回路を示す図である。

【図26】 図25の計測センサーによって計測された照明光学系内の光源像の一例を模式的に示す図である。

【図27】 照明光学系を構成するフライアイレンズから被照射面までの光路と、被照射面上の1点に集光する照明光のNA差を説明する図である。

【図28】 照明光の像高に応じたNA差を補正するための照明NA補正板の配置と、その補正板の平面構造とを示す図である。

【図29】 投影露光装置に搭載される各種の収差補正板の交換機構と調整機構とを模式的に説明する図である。

【図30】 本願の発明が適用される投影光学系の他のタイプを模式的に説明する図である。

【図31】 試し焼きの際にテストレチクルのパターンが走査露光されるウェハ上のショット領域の配列と、その配列中の1つのショット領域の様子とを示す図である。

【図32】 試し焼きされた1つのショット領域内の計測用マークパターンの各投影像を計測する場合の組分けと平均化の様子とを説明する図である。

【符号の簡単な説明】

1 … エキシマレーザ光源

7 … 照明系

7C; 7G … フライアイレンズ系

7F … 照明NA補正板

7N … テレセン誤差補正板

8 … レチクルステージ

14 … ウェハステージ

32 … 露光装置の主制御系

G1 … 像歪み補正板

G3 … アス・コマ収差補正板

G4 … 像面湾曲補正板

100 … 研磨加工機の本体

120 … 像歪み補正板の支持プレート

200 … ピンホールによる計測センサー

222 … 像歪み補正板の交換機構

224 … 照明NA補正板の交換機構

227 … アス・コマ収差補正板と像面湾曲補正板の交換機構

228 … テレセン誤差補正板の交換機構、或いは調整機構

R … レチクル

TR … テストレチクル

W … ウェハ

TB … テーブル

PL … 投影光学系

IF … 円形投影視野

EIA … 走査露光時の実効投影領域

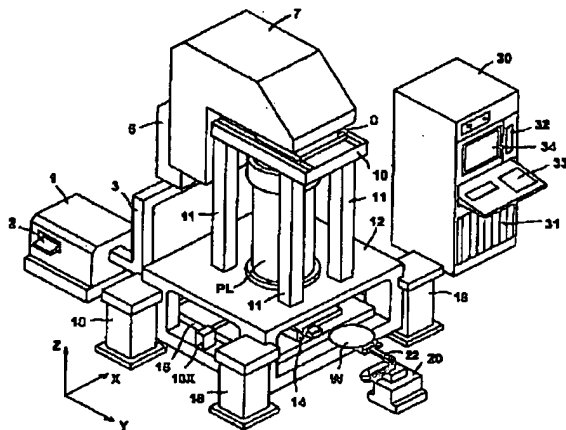
DV(i,j) … スタティックな像歪みベクトル

VP(Xi) … ダイナミックな像歪みベクトル

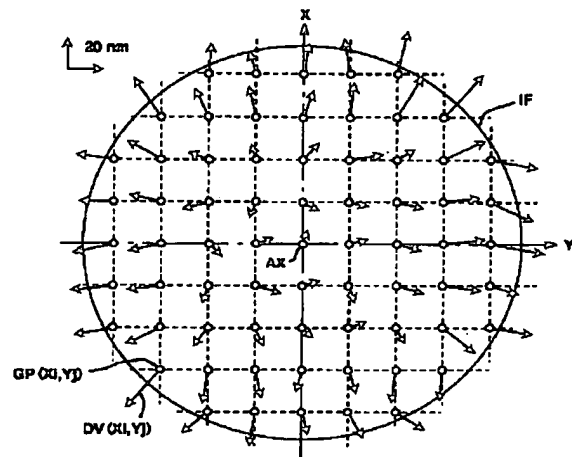
TM(i,j) … テストレチクル上の計測用マークパターン

KES … 空間像検出器

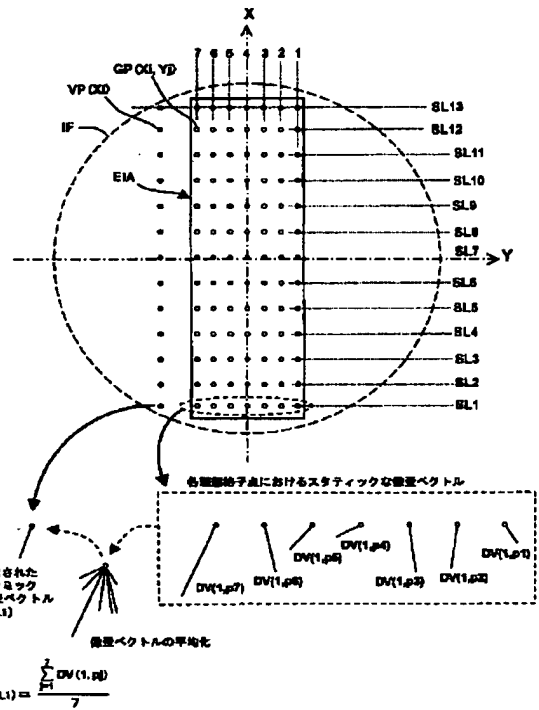
【図1】



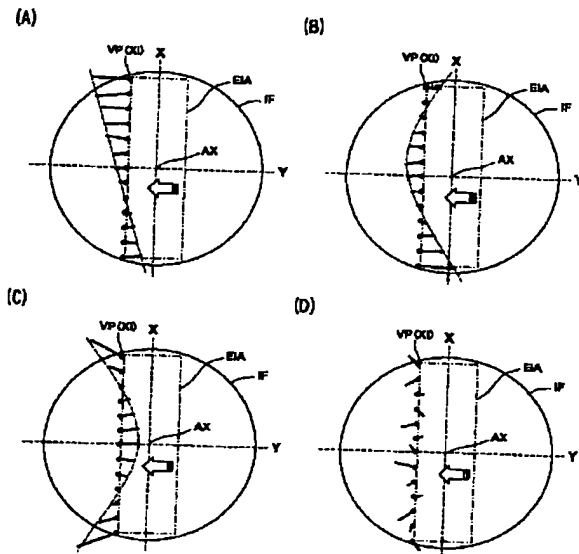
【図3】



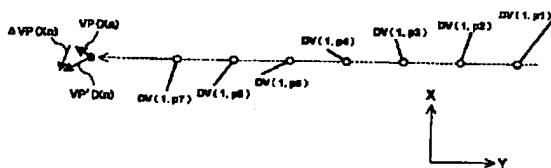
【図4】



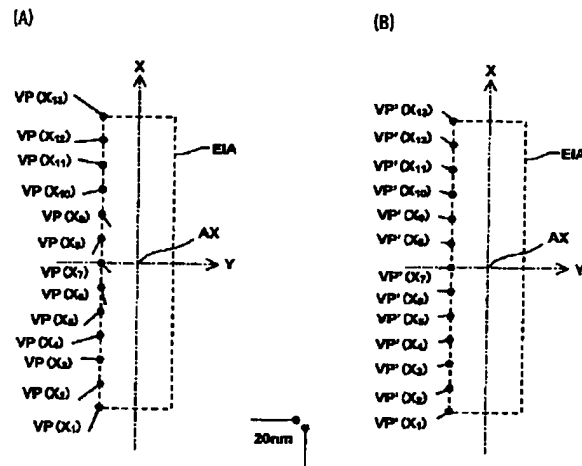
【図5】



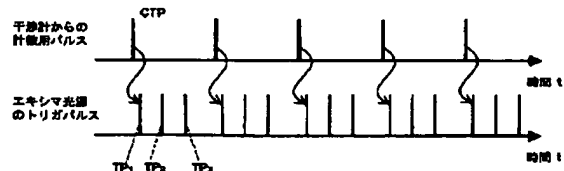
【図7】



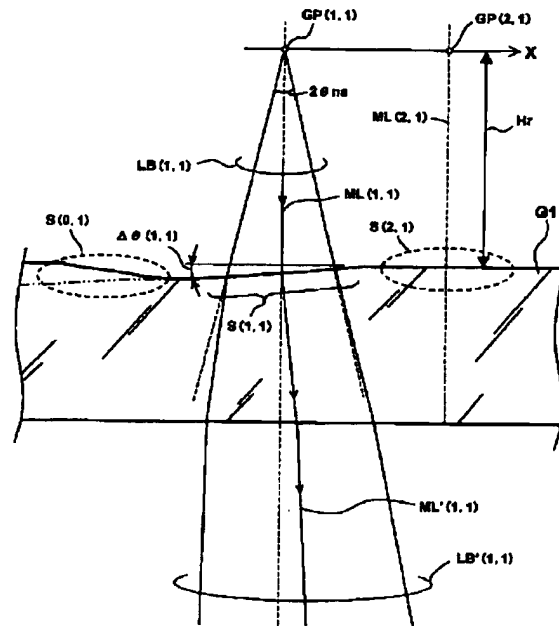
【図6】



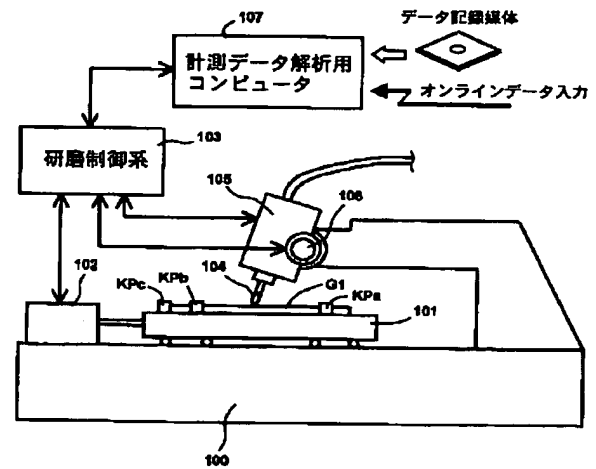
【図19】



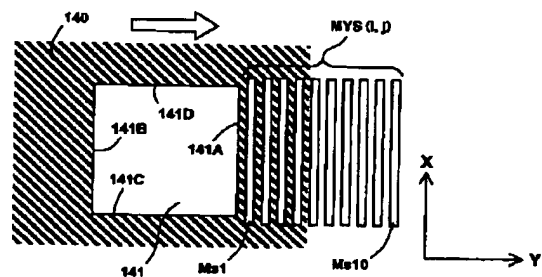
【図9】



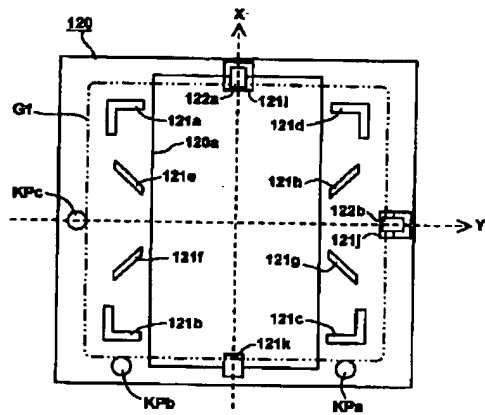
【図 1 1】



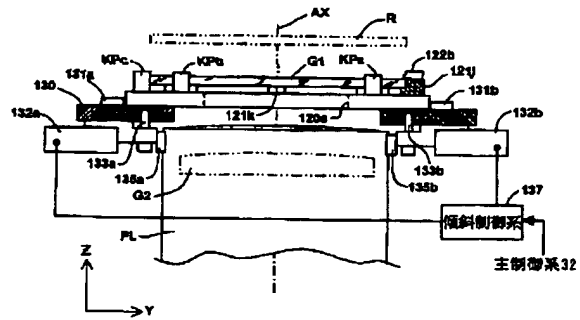
【図16】



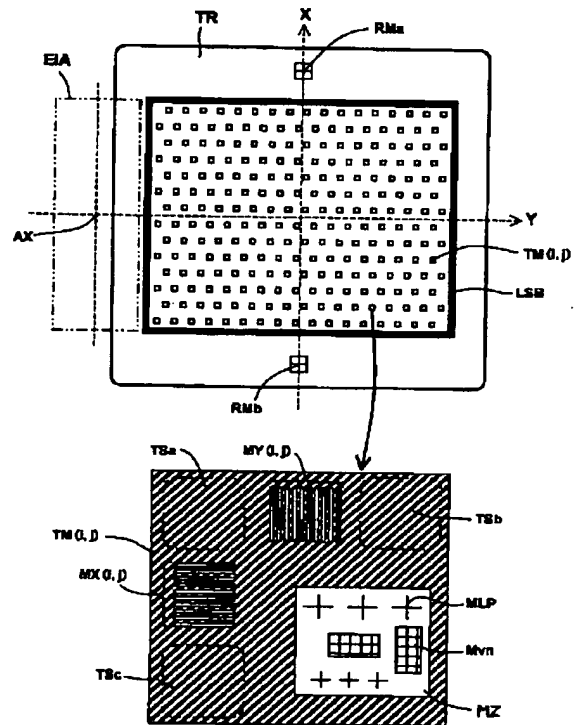
【図12】



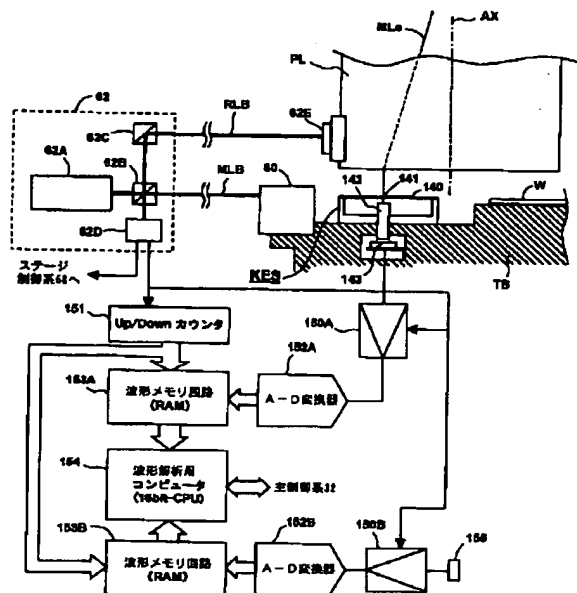
【図13】



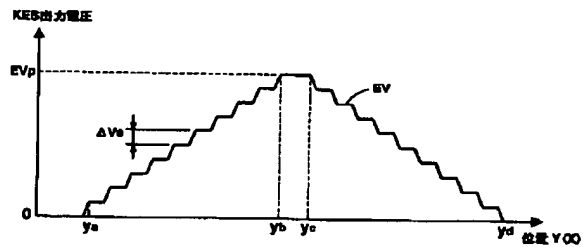
【図15】



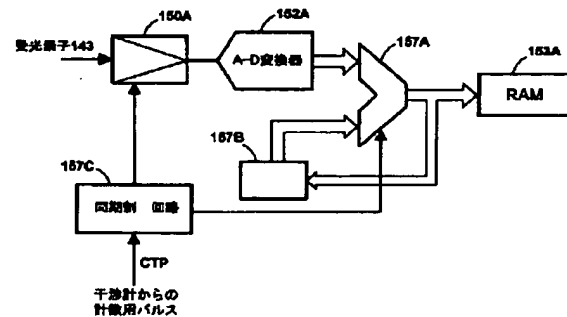
【図14】



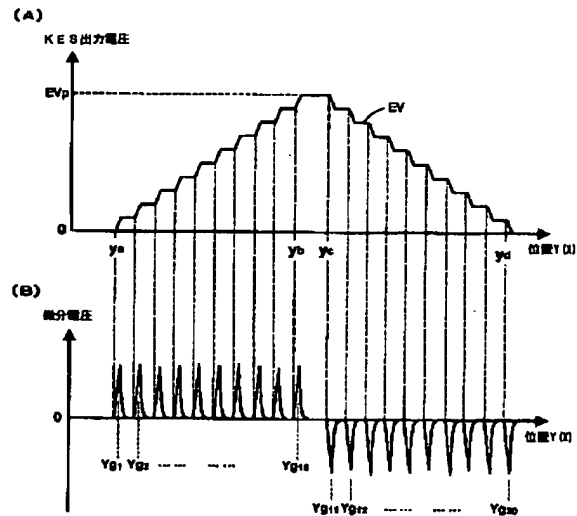
【図17】



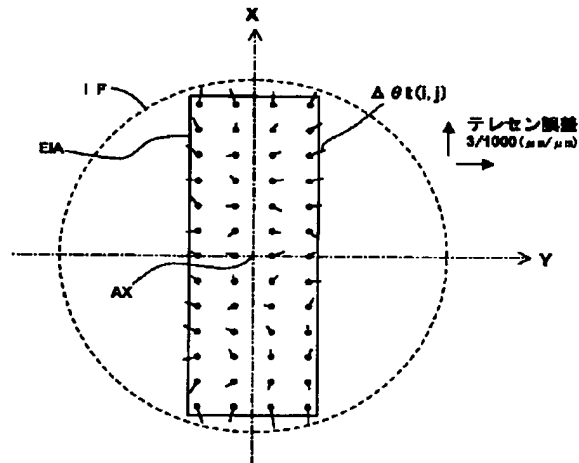
【図20】



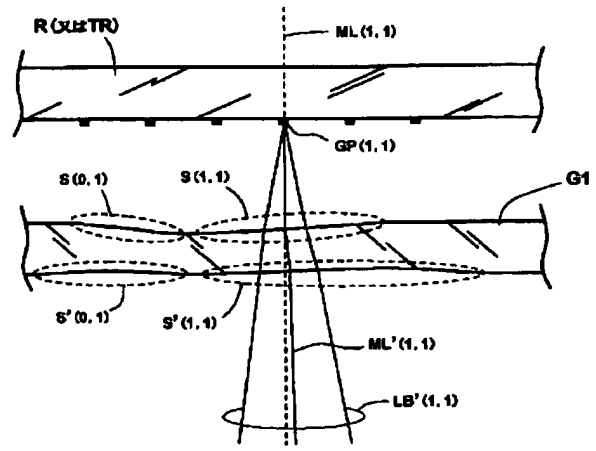
【図18】



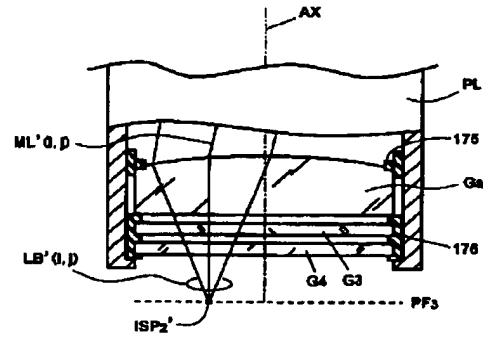
【図22】



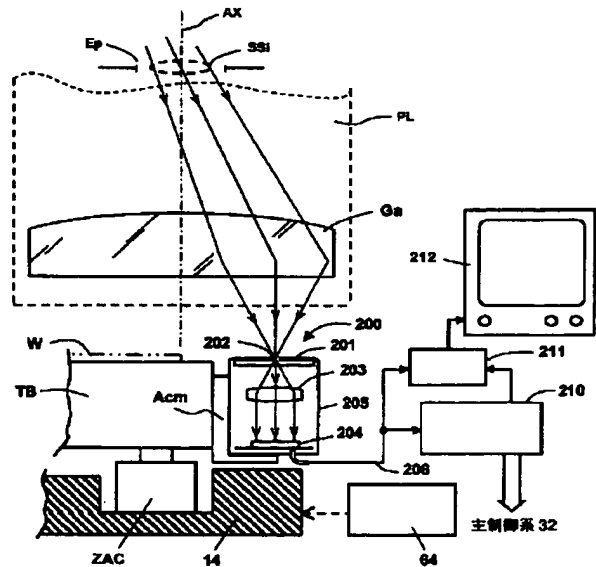
【図21】



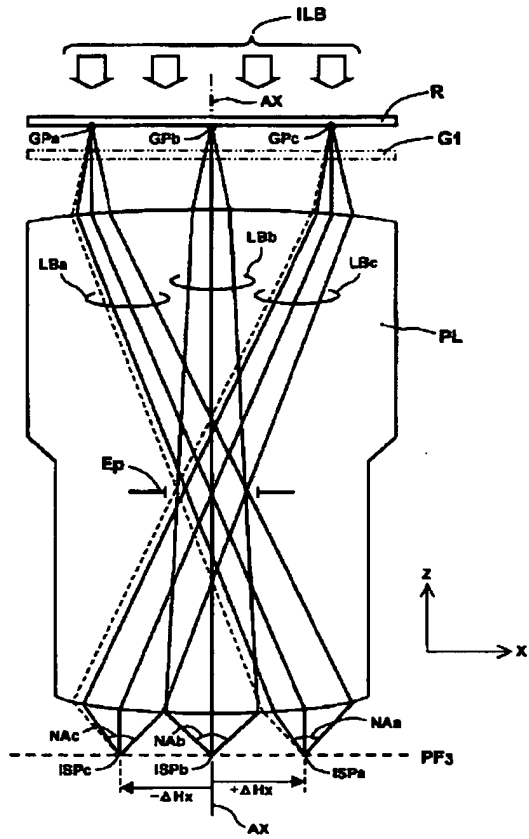
【図23】



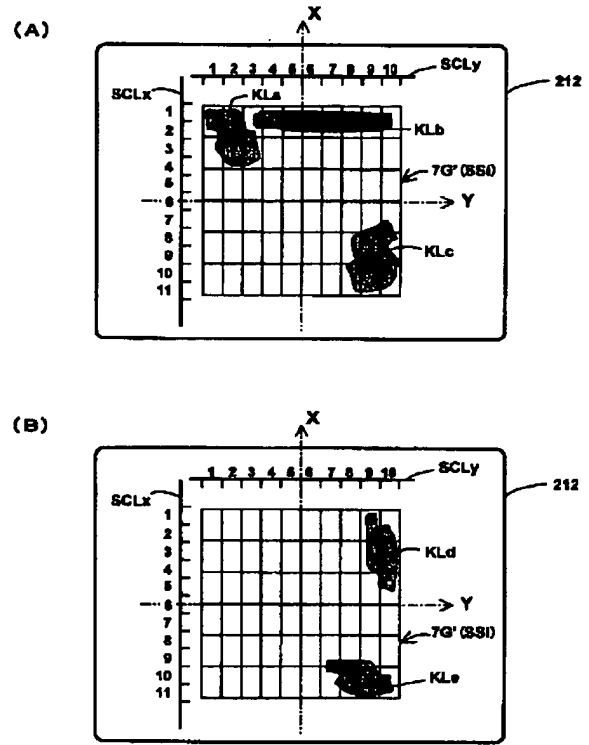
【図25】



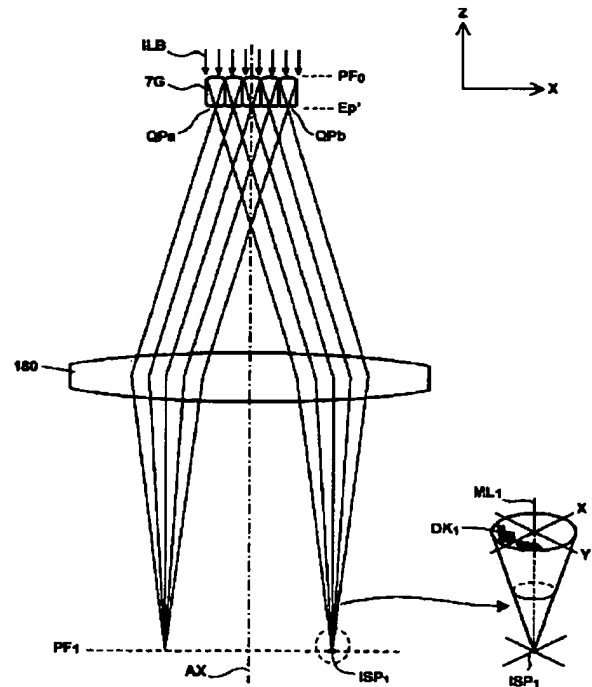
【図24】



【図26】



【図27】







【図31】

